

**DISEÑO DE CÁMARA TÉRMICA AUTOMATIZADA PARA LA PRODUCCIÓN
DE COLINO DE PLÁTANO**

**DANIEL GÓMEZ BETANCUR
LUISA MARÍA RENGIFO GALEANO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
TECNOLOGÍA MECATRÓNICA
PEREIRA
2017**

DISEÑO DE CÁMARA TÉRMICA AUTOMATIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE COLINO DE PLÁTANO

Luisa María Rengifo Galeano
Daniel Gómez Betancur

Proyecto de grado como requisito para optar al título de tecnología mecatrónica

Director: Diego Fernando Salazar Patiño

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
TECNOLOGÍA MECATRÓNICA
PEREIRA
2017

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira (15/11/2017)

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	9
1. OBJETIVOS.....	10
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	10
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
2. DESARROLLO	11
2.1 HALLAR LOS PARÁMETROS IDEALES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA AUMENTAR AL MÁXIMO EL NÚMERO DE BROTES AL MES.....	11
2.2 ESTABLECER LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS QUE NECESITA LA CÁMARA TÉRMICA AUTOMATIZADA	11
2.3 DETERMINAR QUÉ SENSORES SON LOS MÁS CONFIABLES PARA REALIZAR EL DISEÑO DEL CONTROLADOR.....	13
2.4 REALIZAR EL MODELADO MATEMÁTICO DE LA CÁMARA TÉRMICA AUTOMATIZADA	19
2.5 DISEÑAR EL CONTROLADOR DE LA CÁMARA TÉRMICA AUTOMATIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE PLÁTANO	28
2.6 DISEÑAR UN SISTEMA DE TECHO ELEVADIZO PARA REDUCIR EL USO DE CALEFACTORES	59
3. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES.....	61
4. RECOMENDACIONES.....	61
5. PRESUPUESTO.....	62
REFERENCIAS	63
ANEXOS	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sensor LM35	15
Figura 2. Sensor TMP36	15
Figura 3. Sensor TC74	16
Figura 4. Sensor DHT11	16
Figura 5. Sensor DHT22	17
Figura 6. Sensor SHT15	18
Figura 7. Dimensiones de la cámara térmica	19
Figura 8. Comportamiento dinámico de las variables de la cámara térmica	20
Figura 9. Sistema de control PID	29
Figura 10. Diseño de controlador acoplado	30
Figura 11. Diseño de controlador acoplado simplificado	30
Figura 12. Controlador C'11(s)	32
Figura 13. Controlador C'22(s)	33
Figura 14. Diagrama de bloques del sistema de control	35
Figura 15. Respuesta de la humedad en el sistema controlado	36
Figura 16. Respuesta de la temperatura en el sistema controlado	36
Figura 17. Respuesta de la humedad y la temperatura en el sistema controlado	37
Figura 18. Microcontrolador ATmega328P	39
Figura 19. Arduino UNO	40
Figura 20. Diagrama de flujo del programa	41
Figura 21. Módulo DS3231	48
Figura 22. Adaptador I2C para LCD 2x16	49
Figura 23. Celda de Peltier	50
Figura 24. Interior de la Celda Peltier	51
Figura 25. Explosión de módulo Peltier	51
Figura 26. TEC1-12708	52
Figura 27. Sistema de calefacción de la cámara térmica	53
Figura 28. DN15 DC12V	53
Figura 29. Rociador de latón con boquilla de nebulización	54
Figura 30. Sistema de riego de la cámara térmica automatizada	54
Figura 31. Sistema de riego implementado en la cámara térmica	55
Figura 32. IRFP460PBF	55
Figura 33. 2N7000	56
Figura 34. Esquemático	57
Figura 35. Placa de circuito impreso	58

Figura 36. Ubicación de los componentes sobre la placa.....	58
Figura 37. Componentes del sistema de techo elevadizo.....	60
Figura 38. Sistema de techo elevadizo	60

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Materiales que se pueden usar	12
Tabla 2. Características del sensor DHT22	18
Tabla 3. Variables del sistema	21
Tabla 4. Punto de operación del sistema	25
Tabla 5. Valor de los coeficientes constantes	27

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Programa del controlador	64
Anexo B. Datasheet Atmega 328P	68
Anexo C. Datasheet Arduino UNO.....	70
Anexo D. Datasheet IRFP460PBF	74
Anexo E. Datasheet 2N7000	76
Anexo F. Placa de circuito impreso.....	78
Anexo G. Datasheet TEC1-12708T125	79

INTRODUCCIÓN

La producción y cultivo de plátano en Colombia se ha incrementado en los últimos años gracias a la creciente demanda internacional de este producto, convirtiéndose así en un cultivo de gran valor económico y una importante fuente de empleo para el país. Según el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT (2013). En América Latina y el Caribe se encuentran los principales productores de plátano a nivel mundial, estos abastecieron el 63,7% del comercio internacional de un total de 38,9 toneladas en el año 2011, también se especifica que Ecuador y Colombia se sitúan como los principales productores abarcando el 33,2% y el 10,2% del comercio mundial.

El plátano es un cultivo fácil de sostener y muy rentable para el agricultor, sin embargo, esta práctica tiene varios puntos en contra y su principal inconveniente es que sus frutos son denominados paternocárpicos, es decir, son denominados frutos vírgenes que no dan semilla y debido a esto los colinos son utilizados como material de siembra.

Conforme al estudio realizado por Urbina Vallejo (2010), los colinos de plátano se obtienen a partir del grueso tallo subterráneo de la planta denominado cormo y de éste se obtienen brotes de pequeños colinos usualmente llamados yemas. Gracias a la investigación de la CIAT (2013), se sabe que para la producción de colino de plátano en ambientes externos las yemas tardan en brotar aproximadamente veintinueve días y se obtienen en promedio treinta y cinco brotes por metro cuadrado, lo que es muy poco considerando que el área sembrada es muy extensa en comparación con la cantidad de brotes obtenidos, además, existe una alta probabilidad de dispersión de plagas y microorganismos dañinos para las plantas que pueden echar a perder todo el cultivo.

La CIAT (2013) recomienda el uso de cámaras térmicas para la producción de material de siembra de plátano donde se reduce en dos meses el primer ciclo del cultivo, se pueden obtener noventa brotes por metro cuadrado y se pueden excluir plagas utilizando material de elite (semillas in vitro), por otra parte, el uso de estas cámaras genera un ambiente controlado por lo que las semillas crecen en tamaño y peso uniforme lo que facilita la articulación de programas de certificación de semilla que le permiten a quien cultiva exportar su producto. Dado que la cantidad de brotes por metro cuadrado es elevada y el primer ciclo de cultivo es ampliamente reducido, se puede garantizar la disponibilidad de material de siembra por todo el

año y en cuanto rentabilidad el productor puede abastecer su cultivo y además vender los colinos de plátano restantes.

Una cámara térmica automatizada es capaz manipular factores físicos tales como la temperatura y la humedad garantizando así un ambiente controlado las 24 horas del día sin necesidad de mano de obra externa. En beneficio del productor se tiene que la producción del material de siembra se maximiza en cantidad y calidad, además se hace un mejor aprovechamiento del agua con la programación de riegos automatizados evitando el desperdicio de la misma y por consiguiente un exceso de humedad en el interior de la cámara.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar una cámara térmica para la producción de colino de plátano.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hallar los parámetros ideales de temperatura y humedad para aumentar al máximo el número de brotes al mes.
- Establecer los requerimientos técnicos que necesita la cámara térmica automatizada.
- Determinar qué sensores son los más confiables para realizar el diseño del controlador.
- Realizar el modelado matemático de la cámara térmica automatizada.
- Diseñar el controlador de la cámara térmica automatizada para la producción del cultivo de plátano.
- Diseñar un sistema de techo elevadizo para reducir el uso de calefactores

2. DESARROLLO

2.1 HALLAR LOS PARÁMETROS IDEALES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA AUMENTAR AL MÁXIMO EL NÚMERO DE BROTES AL MES

La cámara térmica tendrá un recubrimiento con un plástico térmico, el cual será el encargado de evitar pérdidas dentro de esta, y así poder ayudar a la conservación del calor, además contribuirá a la producción de humedad dentro de la cámara para poder tener las condiciones óptimas para los cormos de plátano, de acuerdo con Comisión para el desarrollo y vida sin drogas, & PIRDAIS PASCO (2013), la temperatura dentro de la cámara debe de estar entre los 40° y 60°C de quince a veinte días, mientras empieza la germinación de los cormos, cuando ya se haya dado la germinación la temperatura debe estar mínimo 45°C y máximo en los 50° ya que si supera esta temperatura se corre el riesgo de que se quemen los cormos.

2.2 ESTABLECER LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS QUE NECESITA LA CÁMARA TÉRMICA AUTOMATIZADA

Para la construcción de la cámara térmica se debe buscar un terreno de fácil acceso, éste debe ser plano con suelo de textura franco arenoso para facilitar el drenaje del agua y evitar el exceso de humedad. La cámara se diseña con el objetivo de obtener por lo menos 2500 brotes cada dos meses y por tal razón se construirá sobre un área de 32 m², es decir, sus dimensiones serán de 4mx8m y la altura será de 1.85m.

Se busca que el cultivo en el interior de la cámara esté completamente asilado de toda planta externa para evitar cualquier enfermedad que pueda afectar la producción, estas enfermedades afectan todas las partes de la planta y pueden ser causadas por hongos, bacterias y virus. El interior de la cámara debe ser un lugar esterilizado donde se garantice desinfección continua de las herramientas de trabajo y un manejo higiénico de las semillas; Según Gómez Caicedo, Echeverry & Gonzáles (2001), se recomienda el uso frecuente del hipoclorito de sodio, en su presentación comercial (5.25%) disuelto en agua (proporción 1:1) como práctica apropiada para la desinfección de herramientas.

Para obtener los parámetros de temperatura y humedad apropiados se buscó información proveniente del Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT

(2013), el cual propone realizar termoterapia a la semilla de plátano con el objetivo de garantizar un cultivo limpio de bacterias, hongos y virus; dicha termoterapia consiste en someter al cultivo a temperaturas entre 50°C y 70°C con una humedad relativa entre 30% y 100%.

Existen diferentes materiales con los que puede ser construida la cámara térmica, cada uno con diferentes coeficientes de transferencia de calor, a continuación se presentan los diferentes materiales que se pueden usar,

Tabla 1. Materiales que se pueden usar

MATERIAL	[Wm ² C]
Vidrio sencillo	6 0 - 8,8
Doble vidrio, cámara de 9 mm	4,2 – 5,2
Doble acrílico SDP 16	4,2 – 5,0
Triple acrílico S3P 32	3,0 – 3,5
Doble policarbonato, cámara 10 mm	4,7 – 4,8
Doble policarbonato, cámara de 16 mm	4,2 – 6,0
Plástico	6,0 – 8,0
Doble plástico	4,2 – 6,0
Doble plástico IR + cortina	2,5 – 3,0
Vidrio + cortina térmica de polietileno	6,4
Vidrio + cortina térmica de PVC	4,7
Vidrio + cortina térmica de EVA	5,1
Vidrio + cortina térmica de burbujas	4,9
Vidrio + cortina térmica de plástico, film no tejido	4,1 – 4,8
Vidrio + cortina térmica de doble plástico, burbujas	3,4 – 3,9
Vidrio + cortina térmica de film aluminizado y burbujas	3,2
Vidrio + cortina térmica de film aluminizado sencillo	3,4 – 3,9

Se decide utilizar plástico térmico para invernadero transparente con un grosor de 200 micras como material de recubrimiento de la cámara. Este plástico se encargará de mantener una temperatura elevada en el interior y ésta será regulada por medio de riegos por micro-aspersores y calefactores.

Con respecto al sistema de control, éste debe estar en un gabinete con protección IP – 64 (International Protection). Los dos dígitos posteriores al IP corresponden al nivel de protección contra el polvo y la humedad, el nivel 6 de protección contra el polvo es el más alto y hace referencia a que el polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia y el nivel cuatro de protección contra el agua establece que no debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de diez litros por minuto y a una presión de ochenta a cien kN/m² durante un tiempo que no sea menor a cinco minutos.

2.3 DETERMINAR QUÉ SENSORES SON LOS MÁS CONFIABLES PARA REALIZAR EL DISEÑO DEL CONTROLADOR.

Los sensores de temperatura son aquellos dispositivos que transforman los cambios de temperatura que reciben enséñales eléctricas las cuales son procesadas por el equipo encargado de controlarla.

Existen tres tipos de sensores de temperatura: termistor, RTD y termopar.

El termistor se basa en el comportamiento de la resistencia de los semiconductores la cual es variable dependiendo de los cambios de temperatura. Existen dos tipos de termistores los PTC los cuales al aumentar la temperatura la resistencia aumenta y los NTC los cuales al aumentar la temperatura la resistencia disminuye.

Las RTD su principio de funcionamiento se basa en la variación de la resistencia de un conductor con respecto a la temperatura, por lo general estas están hechas de platino, níquel, molibdeno y cobre ya que poseen un buen margen de temperatura.

Los termopar o termocupla son dos tipos de metales los cuales funcionan por el efecto termoeléctrico, el cual permite la transformación del calor en electricidad, el termopar genera una tensión que se aplica al sensor y al ir midiendo con el voltímetro se podrá conocer la temperatura.

- El alcance que la influencia de la humedad podría tener en cualquier proceso industrial varia, pero es esencial que al menos sea monitoreada, y en muchos casos controlada. Podemos decir que la humedad es una propiedad más difícil de definir y medir que los parámetros asociados pueden ser la presión y temperatura. La medición de la humedad es un proceso verdaderamente analítico en el cual el sensor debe estar en contacto con el ambiente de proceso a diferencia de los sensores de presión y temperatura que invariablemente se encuentran aislados del proceso por protecciones conductoras del calor o diafragmas respectivamente.

Pueden ser de tipo

- Capacitivos: se basan sencillamente en el cambio de la capacidad que sufre un condensador en presencia de humedad.
- Infrarrojos: estos disponen de 2 fuentes infrarrojas que lo que hacen es absorber parte de la radiación que contiene el vapor de agua.
- Resistivos: aplican un principio de conductividad de la tierra. Es decir, cuanta más cantidad de agua hay en la muestra, más alta es la conductividad de la tierra.

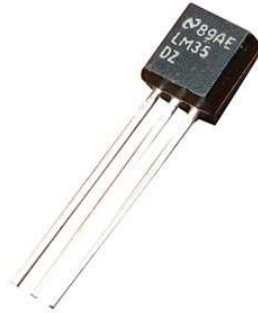
Parámetros de evaluación de un sensor de temperatura y humedad.

- Sensibilidad: Cantidad mínima que el sensor será capaz de medir y modificará la salida, en nuestro caso se podría determinar como la cantidad de grados que detecta.
- Rangos de valores: Valores mínimos y máximos que el sensor es capaz de medir.
- Precisión: Es el error que se produce entre el valor real y el valor obtenido.
- Resolución: Como sabemos la sensibilidad es la que nos indica la capacidad de detectar el cambio en la entrada, la resolución es lo mismo pero a la salida, es decir será el cambio mínimo detectable en la señal de salida.
- Tiempo de respuesta: Los sensores no cambian su estado de salida inmediatamente. Para que cambie la salida con respecto a una entrada debe pasar un tiempo y a este tiempo se le llama el tiempo de respuesta. Por lo tanto, será el tiempo necesario para que cuando se produzca un cambio en la entrada este produzca un cambio en la salida. Se suele medir en % es decir, cuanto tiempo tarda en producirse un % de la variación.
- Offset: Es un factor de corrección que se debe de tener en cuanto a la hora de hacer los cálculos.

Sensores en el mercado:

- LM35

Figura 1. Sensor LM35



Tomado de: aliexpress.com

Voltaje de operación: de 4 V a 30 V

Rango de temperaturas: -55° C a 150° C

Precisión: $\pm 0,5^{\circ}$ C

Conversión: 10 mV / °C

Tiempo de respuesta (100%): 4 min.

Offset: 0 V

- TMP36

Figura 2. Sensor TMP36



Tomado de: aliexpress.com

Voltaje de operación: de 2,7 V a 5,5 V

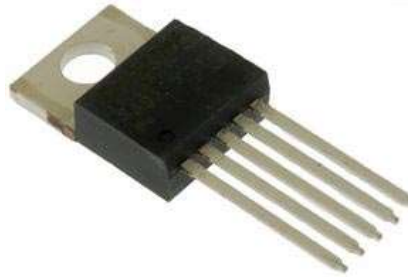
Rango de temperaturas: -40° C a 150° C aunque a partir de los 125°C ya no es lineal

Precisión: $\pm 2^{\circ}$ C

Conversión: 10 mV / °C
Tiempo de respuesta (100%): 8 min.
Offset: 0.5 V

- TC74

Figura 3. Sensor TC74

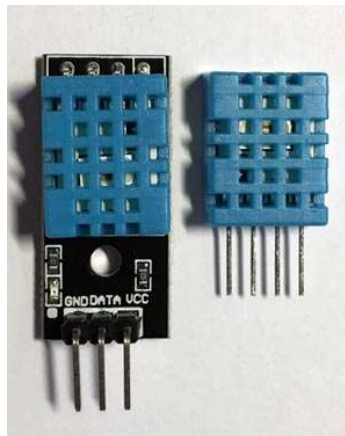


Tomado de: aliexpress.com

Voltaje de operación: de 2,7 V a 5,5 V
Rango de temperaturas: -40° C a 125° C
Precisión: $\pm 2^\circ \text{C}$ de 25° C a 85° C y $\pm 3^\circ \text{C}$ de 0° C a 125° C
Resolución: 8-bit
Muestras/segundo: 8

- DHT11

Figura 4. Sensor DHT11

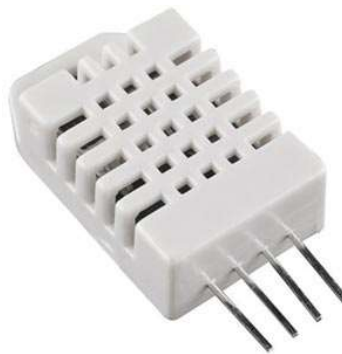


Tomado de: aliexpress.com

Voltaje de operación: de 3 V a 5,5 V
Rango de temperaturas: 0° C a 50° C
Precisión: $\pm 2^{\circ}$ C
Resolución: 8 bit
Muestras/segundo: 0,5

- DHT22

Figura 5. Sensor DHT22



Tomado de: [aliexpress.com](https://www.aliexpress.com)

Voltaje de operación: de 3,3 V a 6 V
Rango de temperaturas: -40° C a 80° C
Precisión: $\pm 0,5^{\circ}$ C
Resolución: 16 bit
Muestras/segundo: 0,5

- SHT15

Figura 6. Sensor SHT15



Tomado de: aliexpress.com

Voltaje de operación: de 2.4 V a 5.5 V

Rango de temperaturas: -40° C a 123.8° C

Precisión: $\pm 0,3^{\circ}$ C

Resolución: 14 bit

Muestras/segundo: 1

En nuestro caso usaremos el sensor DHT22 ya que cuenta con las características que necesitamos para el diseño y su precio es accesible.

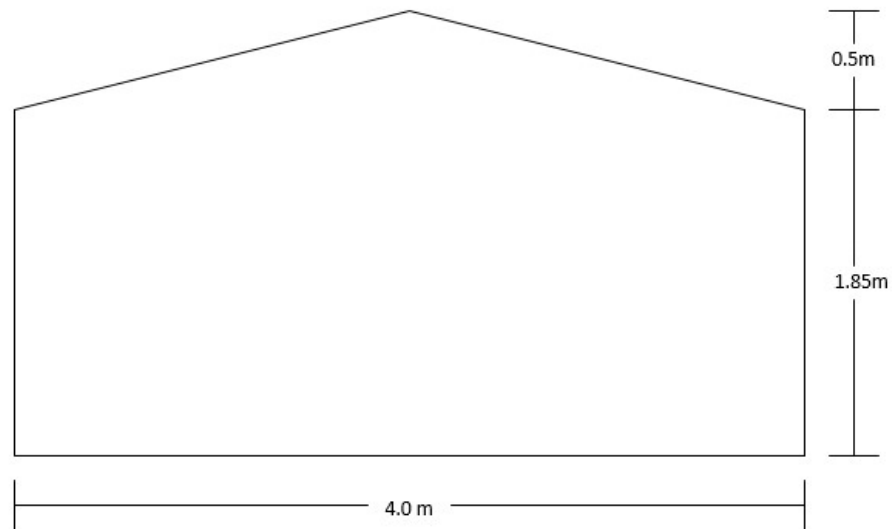
Tabla 2. Características del sensor DHT22

Voltaje de operación	3.3 – 6v DC
Señal de salida	Señal digital
Elemento sensor	Capacitor de polimero
Rango de operación	Humedad 0 -100% RH; Temperatura -40 – 80°C
Exactitud	Humedad $\pm 2\%$ RH(Max $\pm 5\%$ RH); Temperatura $\leq \pm 0.5$ Celsius
Resolución o sensibilidad	Humedad 0.1RH; Temperatura 0.1Celsius
Repetibilidad	Humedad $\pm 1\%$ RH; Temperatura ± 0.2 Celsius
Histéresis de humedad	$\pm 0.3\%$ RH
Tiempo de estabilidad	$\pm 0.5\%$ RH/year
Muestras/ segundo	0.5s
Dimensiones	Empaque pequeño 14*18*5.5mm; Empaque grande 22*28*5mm

2.4 REALIZAR EL MODELADO MATEMÁTICO DE LA CÁMARA TÉRMICA AUTOMATIZADA

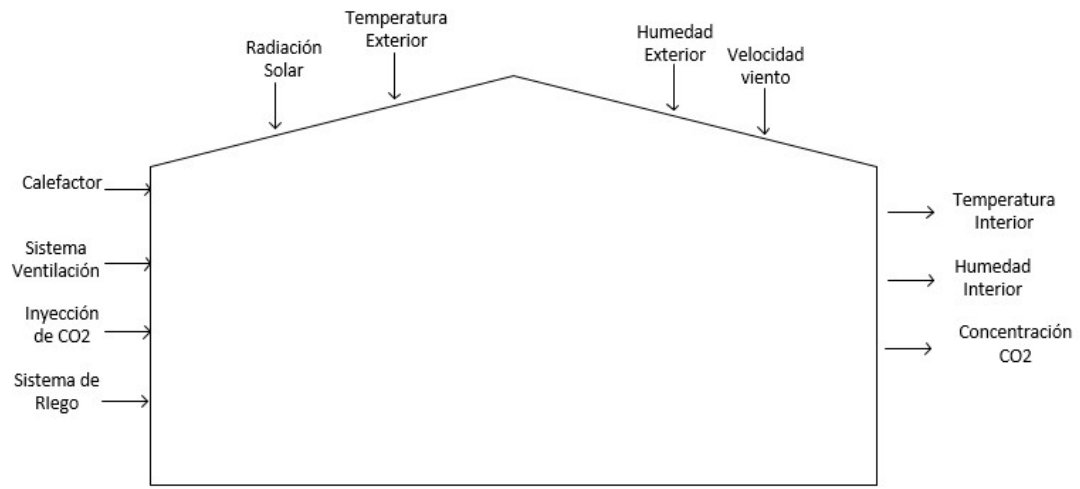
Después de haber establecido los parámetros técnicos y haber definido qué sensores son los más eficientes para la realimentación de la cámara térmica se procede con la elaboración del modelado matemático del sistema para diseñar el controlador que se encargará de automatizar los riegos y de mantener una temperatura y humedad constante.

Figura 7. Dimensiones de la cámara térmica



Según Ponce, Molina, Cepeda, Logo & MacCleery (2015), la siguiente figura representa el comportamiento dinámico del clima en el interior de la cámara térmica.

Figura 8. Comportamiento dinámico de las variables de la cámara térmica



Fuente: Ponce, Molina, Cepeda, Logo & MacCleery

Donde las variables que se retroalimentan o salidas del sistema son la temperatura, humedad y concentración de CO₂ en el interior de la cámara, las perturbaciones externas son la temperatura y humedad exterior, la radiación solar y la velocidad del viento y por último, las variables controladas son la energía ingresada mediante el calefactor, el sistema de riego, el sistema de ventilación y la inyección de CO₂.

Teniendo en cuenta que el sistema de inyección de CO₂ es muy costoso y que su uso no es muy extenso, las variables relacionadas con éste no son tenidas en cuenta en la elaboración del sistema dinámico y sólo se tendrán en cuenta las perturbaciones principales como lo son la radiación solar, la temperatura y humedad exterior.

A continuación se presenta la nomenclatura de las variables utilizadas en el modelado matemático.

Tabla 3. Variables del sistema

T_{in}	Temperatura interior	$^{\circ}\text{C}$
T_{out}	Temperatura exterior	$^{\circ}\text{C}$
V	Volumen de la cámara térmica	m^3
UA	Coeficiente de transferencia de calor	W/mK
ρ	Densidad del Aire	1.2kg/m^3
c_p	Calor específico del aire	1006J/kgK
Q_c	Calor proveniente del calefactor	W
S_i	Energía interceptada por radiación solar	W
Q_R	Capacidad de agua del sistema de riego	$\text{gH}_2\text{O/s}$
δ	Calor latente de vaporización	2257J/g
\dot{v}	Flujo de aire	m^3/s
W_{in}	Índice de masa de agua en el aire interior	$\text{gH}_2\text{O/kg}$
W_{out}	Índice de masa de agua en el aire exterior	$\text{gH}_2\text{O/kg}$
$E(s_i(t), W_{in}(t))$	Índice de evapo-transpiración de las plantas	$\text{gK}_2\text{O/s}$

Fuente Ponce, Molina, Cepeda, Logo & MacCleery

Según Ponce, Molina, Cepeda, Logo & MacCleery (2015), Las ecuaciones que describen el comportamiento dinámico del sistema son las siguientes,

$$\frac{dT_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho C_p V} [Q_c(t) + s_i(t) + \delta Q_R(t)] - \left(\frac{UA}{\rho C_p V} + \frac{\dot{v}(t)}{V} \right) * [T_{in}(t) - T_{out}(t)] \quad (1)$$

$$\frac{dW_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho V} Q_c(t) = \frac{1}{\rho V} E(s_i(t), W_{in}(t)) - \frac{\dot{v}(t)}{V} [W_{in}(t) - W_{out}(t)] \quad (2)$$

Dado que el índice de evapo-transpiración $E(s_i(t), W_{in}(t))$ está en gran medida relacionado con la energía interceptada por radiación solar s_i , éste se puede representar con la siguiente ecuación.

$$E(s_i(t), W_{in}(t)) = \frac{\alpha}{\delta} S_i(t) - \beta_T W_{in}(t) \quad (3)$$

Donde α es un coeficiente global que permite tener en cuenta parámetros como la sombra y las áreas cubiertas por hojas y es un índice adimensional. Por otro lado, β_T es también un coeficiente global que tiene en cuenta constantes termodinámicas y otros factores que afectan la evapo-traspiración de las plantas, por ejemplo el movimiento del aire, las estomas, etc.

Teniendo definido el comportamiento del índice de evapo-traspiración de las plantas la ecuación (2) que comprende el comportamiento dinámico de la humedad en el interior de la cámara quedaría de la siguiente forma.

$$\frac{dW_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho V} \left(\frac{\alpha}{\delta} S_i(t) - \beta_T W_{in}(t) \right) - \frac{\dot{v}(t)}{V} [W_{in}(t) - W_{out}(t)] \quad (4)$$

Ya con ésta se tienen definidas las dos ecuaciones que describen el comportamiento dinámico del clima en el interior de la cámara térmica, éstas son:

$$\frac{dT_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho C_p V} [Q_c(t) + s_i(t) + \delta Q_R(t)] - \left(\frac{UA}{\rho C_p V} + \frac{\dot{v}(t)}{V} \right) * [T_{in}(t) - T_{out}(t)] \quad (1)$$

$$\frac{dW_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho V} \left(\frac{\alpha}{\delta} S_i(t) - \beta_T W_{in}(t) \right) - \frac{\dot{v}(t)}{V} [W_{in}(t) - W_{out}(t)] \quad (4)$$

Después de tener el modelo matemático del sistema se procede con el diseño del controlador que permitirá tener una cámara térmica automatizada, con éste se harán riegos automáticos, se encenderán los calefactores y se abrirán las compuertas de ventilación con el objetivo de mantener una temperatura moderadamente alta y estable en el interior de la cámara para acelerar el crecimiento de los colinos de plátano.

Para realizar el diseño del controlador es necesario tener la matriz de transferencia del sistema, ésta es una matriz donde se ubican las funciones de transferencia que afectan el comportamiento de cada una de las variables que tiene la cámara térmica; Con el objetivo de entender correctamente qué es una función de transferencia se debe definir en primera instancia qué es la transformada de Laplace.

Según el libro Ecuaciones diferenciales y problemas con valores en la frontera, 2008, la transformada de Laplace de una función $f(t)$ definida para todo $t \geq 0$ es una función F definida como sigue:

$$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt \quad (5)$$

Para todo valor de s en los cuales la integral impropia converge. Cabe recalcar que una integral impropia en un intervalo infinito está definida como el límite de la integral en el intercalo acotado; esto es

$$\int_a^{\infty} g(t) dt = \lim_b \int_a^b g(t) dt \quad (6)$$

Si el límite en (6) existe, entonces se dice que la integral impropia converge; de otra manera diverge o no existe. Nótese que el integrando de la integral impropia en (5) contiene el parámetro s , además de la variable de integración t . Por tanto, cuando

la integral en (1) converge, lo hace no precisamente hacia un número, sino a la función F de s .

Teniendo claro el concepto de transformada de Laplace de una función se definirá entonces el concepto de función de transferencia y se hablará de sus aplicaciones.

Según el libro Ingeniería de control moderna, 2010, La función de transferencia de un sistema descrito mediante una ecuación diferencial lineal e invariante en el tiempo se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la salida (función de respuesta) y la transformada de Laplace de la entrada (función de excitación) bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero.

La matriz de transferencia es entonces una matriz que contiene las funciones de transferencia de una planta con múltiples entradas y salidas.

Teniendo todos los conceptos claros se procede al cálculo de las funciones de transferencia de la planta, sin embargo hay un problema con el modelo matemático que se obtuvo; por definición se puede calcular la función de transferencia únicamente a ecuaciones lineales e invariables en el tiempo, se puede apreciar que en las dos ecuaciones que describen el comportamiento dinámico del sistema la variable $v(t)$ se multiplica directamente con las variables $[T_{in}(t) - T_{out}(t)]$ y $[W_{in}(t) - W_{out}(t)]$, debido a esto las ecuaciones tienen un comportamiento no-lineal y no se puede hallar directamente la matriz de transferencia.

Es necesario encontrar la aproximación lineal de las ecuaciones en el punto de operación del sistema, a éste proceso se le conoce cómo *Linealización*. El punto de operación de la cámara térmica estará ubicado en la temperatura y la humedad ideales en el interior de la cámara.

Cuando se establecieron los requerimientos técnicos se definió que la temperatura en el interior puede variar entre 50°C y 70°C, el punto de operación será entonces el promedio entre las dos temperaturas el cual es de 60°C; en cuanto la humedad, se estableció que la cámara podrá tener humedad relativa entre el 30% y el 100%, dado que la humedad relativa promedio en Pereira es elevada, en el interior de la cámara ésta será del 75% en el punto de operación.

Según el IDEAM la temperatura promedio en la ciudad de Pereira es de 21.2°C y la humedad relativa del aire es del 76%, estos valores se establecerán como los puntos de operación de la temperatura y la humedad en el exterior de la cámara. A continuación se presentarán cada uno de los valores de las variables en el punto de operación.

Tabla 4. Punto de operación del sistema

T_{in}	60°C
T_{out}	21.2°C
W_{in}	75%
W_{out}	76%
\dot{v}	0 m ³ /s

Se procede entonces con la *Linealización* de las ecuaciones del sistema derivando las mismas con respecto a cada una de las variables que éstas contienen, se obtienen las siguientes ecuaciones linealizadas que describen el comportamiento del clima en el interior de la cámara térmica en su punto de operación.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta dT_{in}(t)}{dt} = & \frac{1}{\rho C_p V} \Delta Q_c(t) + \frac{1}{\rho C_p V} \Delta s_i(t) - \frac{\delta}{\rho C_p V} \Delta Q_R(t) - \left[\frac{T_{in_0} - T_{out_0}}{V} \right] \Delta \dot{v}(t) \\ & - \frac{UA}{\rho C_p V} \Delta T_{in}(t) + \frac{UA}{\rho C_p V} \Delta T_{out}(t) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\Delta dW_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho V} \Delta Q_c(t) + \frac{\alpha}{\delta \rho V} \Delta s_i(t) - \frac{\beta_T}{\rho V} \Delta W_{in}(t) - \left[\frac{W_{in_0} - W_{out_0}}{V} \right] \Delta \dot{v}(t) \quad (8)$$

Hasta este punto se tienen las ecuaciones linealizadas que modelan el comportamiento de cualquier cámara térmica, sin embargo, en ésta ocasión se eliminará el parámetro \dot{v} a razón de que el sistema que se va a diseñar no contiene

sistema de ventilación porque el objetivo del sistema que se va a construir es mantener la temperatura y la humedad en el interior muy elevada; las ecuaciones quedan de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta dT_{in}(t)}{dt} = & \frac{1}{\rho C_p V} \Delta Q_c(t) + \frac{1}{\rho C_p V} \Delta s_i(t) - \frac{\delta}{\rho C_p V} \Delta Q_R(t) - \frac{UA}{\rho C_p V} \Delta T_{in}(t) \\ & - \frac{UA}{\rho C_p V} \Delta T_{out}(t) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\frac{\Delta dW_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho V} \Delta Q_c(t) + \frac{\alpha}{\delta \rho V} \Delta s_i(t) - \frac{\beta_T}{\rho V} \Delta W_{in}(t) \quad (10)$$

A partir de las ecuaciones (9) y (10) se procede a hallar la matriz de transferencia aplicando la transformada de Laplace para comenzar a diseñar los controladores del sistema. Las funciones de transferencia del sistema se presentan a continuación.

$$\begin{aligned} \Delta T_{in}(s) = & \frac{\frac{1}{\rho C_p V}}{s + \frac{UA}{\rho C_p V}} \Delta Q_c(s) + \frac{\frac{1}{\rho C_p V}}{s + \frac{UA}{\rho C_p V}} \Delta s_i(s) - \frac{\frac{\delta}{\rho C_p V}}{s + \frac{UA}{\rho C_p V}} \Delta Q_R(s) \\ & + \frac{\frac{UA}{\rho C_p V}}{s + \frac{UA}{\rho C_p V}} \Delta T_{out}(s) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\Delta W_{in}(s) = \frac{\frac{1}{\rho V}}{s + \frac{\beta_T}{\rho V}} \Delta Q_c(s) + \frac{\frac{\alpha}{\delta \rho V}}{s + \frac{\beta_T}{\rho V}} \Delta s_i(s) \quad (12)$$

Después de hallar las funciones de transferencia se puede hallar la matriz de transferencia del sistema, ésta es la siguiente,

$$\begin{bmatrix} \Delta W_{in}(s) \\ \Delta T_{in}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\rho V} & 0 & \frac{\alpha}{\delta \rho V} & 0 \\ s + \frac{\beta_T}{\rho V} & 0 & s + \frac{\beta_T}{\rho V} & 0 \\ \frac{1}{\rho C_p V} & -\frac{\delta}{\rho C_p V} & \frac{1}{\rho C_p V} & \frac{UA}{\rho C_p V} \\ s + \frac{UA}{\rho C_p V} & s + \frac{UA}{\rho C_p V} & s + \frac{UA}{\rho C_p V} & s + \frac{UA}{\rho C_p V} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta Q_c(s) \\ \Delta Q_R(s) \\ \Delta S_i(s) \\ \Delta T_{out}(s) \end{bmatrix} \quad (13)$$

La anterior matriz de transferencia describe el comportamiento dinámico del clima en el interior de cualquier cámara térmica, ahora se deben reemplazar las constantes por los valores que éstas adoptan teniendo en cuenta las dimensiones de la cámara, el sitio en el que se va a construir y el material que usará para su construcción. A continuación se presentan los valores que éstas constantes adquieren en el sistema a diseñar.

Tabla 5. Valor de los coeficientes constantes

V	67.2 m ³
UA	0.43 W/mK
ρ	1.2 kg/m ³
c_p	1006 J/kgK
δ	2.257 J/kg
α	0.9
β_T	0.85

Tras reemplazar las constantes del sistema se adquiere la matriz de transferencia específica de la cámara térmica que se está diseñando. Ésta es,

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} \Delta W_{in}(s) \\ \Delta T_{in}(s) \end{bmatrix} \\
& = \begin{bmatrix} \frac{0.1240}{s + 0.01054} & 0 & \frac{4.95 \times 10^{-3}}{s + 0.01054} & 0 \\ \frac{12.3268 \times 10^{-6}}{s + 5.3005 \times 10^{-6}} & -\frac{27.8216 \times 10^{-6}}{s + 5.3005 \times 10^{-6}} & \frac{12.3268 \times 10^{-6}}{s + 5.3005 \times 10^{-6}} & \frac{5.3005 \times 10^{-6}}{s + 5.3005 \times 10^{-6}} \end{bmatrix} \\
& * \begin{bmatrix} \Delta Q_c(s) \\ \Delta Q_R(s) \\ \Delta S_i(s) \\ \Delta T_{out}(s) \end{bmatrix} \tag{14}
\end{aligned}$$

A partir de la anterior matriz de transferencia se puede comenzar a diseñar el controlador.

2.5 DISEÑAR EL CONTROLADOR DE LA CÁMARA TÉRMICA AUTOMATIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE PLÁTANO.

Tras haber obtenido la matriz de transferencia del sistema y su respectiva respuesta sin en el uso de controladores se comienza a diseñar estos últimos para mantener la temperatura y la humedad en el interior del sistema controlada. Para realizar el diseño de los controladores se definen las entradas $\Delta S_i(s)$ y $\Delta T_{out}(s)$ como perturbaciones o entradas no controladas del sistema y las entradas $\Delta Q_c(s)$ y $\Delta Q_R(s)$ como las entradas controladas, esto significa que la matriz de transferencia sobre la cual se realizará el diseño de los controladores será la siguiente,

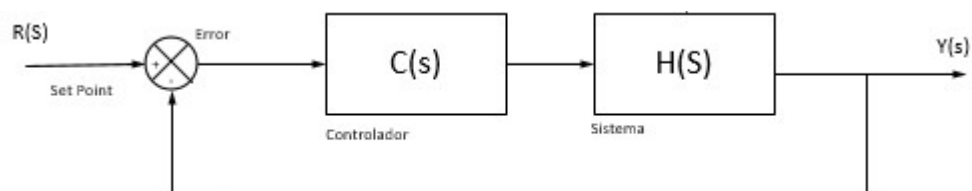
$$\begin{bmatrix} \Delta W_{in}(s) \\ \Delta T_{in}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{0.1240}{s + 0.01054} & 0 \\ \frac{12.3268 \times 10^{-6}}{s + 5.3005 \times 10^{-6}} & -\frac{27.8216}{s + 5.3005 \times 10^{-6}} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta Q_c(s) \\ \Delta Q_R(s) \end{bmatrix} \tag{16}$$

Se optó por utilizar un controlador PID acoplado ya que es ampliamente utilizado en la industria gracias a su eficiencia y a que el costo computacional que éste requiere no es muy elevado, se basa en una realimentación del sistema por medio de sensores y su implementación consta de tres acciones distintas, acción proporcional, acción integral y acción derivativa.

Se ingresa la salida que se quiere obtener del sistema denominada *Set Point* al controlador PID y mediante el uso de sensores y transductores el controlador calcula el error del sistema restando el valor medido por el sensor con el valor del *Set Point*. Las acciones de control se ejecutan con base al error calculado.

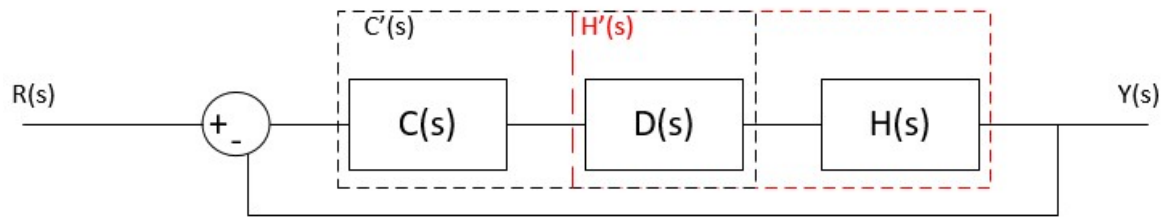
Según wikispaces, La acción proporcional multiplica el error del sistema con la ganancia proporcional denominada K_p , la acción integral K_i da una respuesta proporcional a la integral del error. Esta acción elimina el error en régimen estacionario, provocado por el modo proporcional. Por contra, se obtiene un mayor tiempo de establecimiento, una respuesta más lenta y el periodo de oscilación es mayor que en el caso de la acción proporcional. Por último, la acción derivativa K_d da una respuesta proporcional a la derivada del error (velocidad de cambio del error). Añadiendo esta acción de control a las anteriores se disminuye el exceso de sobre-oscilaciones.

Figura 9. Sistema de control PID



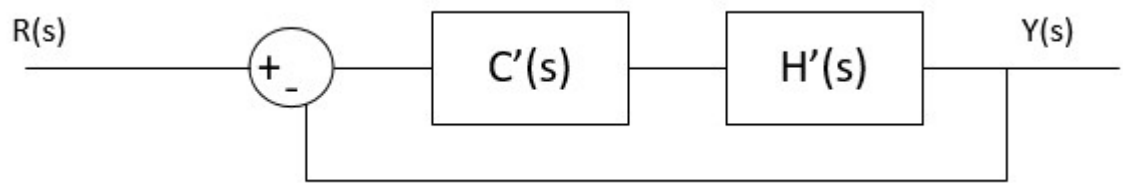
Se quiere diseñar un controlador acoplado que mantenga temperatura y humedad constantes en el sistema y que su tiempo de establecimiento sea de un minuto. Para comenzar a diseñar este controlador se supone un sistema donde existe una matriz teórica $D(s)$ tal que se pueda multiplicar con $C(s)$ y como resultado se obtenga una nueva matriz $C'(s)$. La matriz $D(s)$ también se multiplica con $H(s)$ para obtener $H'(s)$.

Figura 10. Diseño de controlador acoplado



Tal que,

Figura 11. Diseño de controlador acoplado simplificado



Donde $C'(s)$, $D'(s)$ y $H'(s)$ son matrices cuadradas y éstas tienen la siguiente forma,

$$C'(s) = \begin{bmatrix} C'_{11}(s) & 0 \\ 0 & C'_{22}(s) \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$H'(s) = H(s)D(s) \quad (18)$$

$$H'(s) = \begin{bmatrix} H'_{11}(s) & 0 \\ 0 & H'_{22}(s) \end{bmatrix} \quad (19)$$

Dado que las matrices $C'(s)$ y $H'(s)$ tienen ceros por fuera de la diagonal la metodología para calcular los componentes de $C'(s)$ es la de diseño de controladores desacoplados, de forma que al multiplicar $C'(s)$ con $D(s)$ se obtiene la matriz de control acoplado. La matriz $D(s)$ se define de la siguiente forma,

$$D(s) = \begin{bmatrix} 1 & D_{12}(s) \\ D_{21}(s) & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Donde $H'_{11}(s)$, $H'_{22}(s)$, $D_{21}(s)$ y $D_{12}(s)$ se obtienen de la ecuación (18) así,

$$\begin{bmatrix} H'_{11}(s) & 0 \\ 0 & H'_{22}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{0.1240}{s + 0.01054} & 0 \\ \frac{12.3268 \times 10^{-6}}{s + 5.3005 \times 10^{-6}} & -\frac{27.8216 \times 10^{-6}}{s + 5.3005 \times 10^{-6}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & D_{12}(s) \\ D_{21}(s) & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$H'_{11}(s) = \frac{0.1240}{s + 0.01054} \quad (22)$$

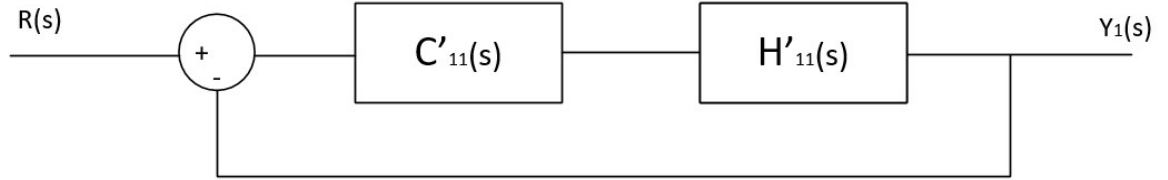
$$H'_{22}(s) = -\frac{27.8216}{s + 5.3005 \times 10^{-6}} \quad (23)$$

$$D_{12}(s) = 0 \quad (24)$$

$$D_{21}(s) = 0.4431 \quad (25)$$

Tras obtener los valores de $H'_{11}(s)$ y $H'_{22}(s)$ se procede a hallar $C'_{11}(s)$ y $C'_{22}(s)$ como controladores desacoplados. Para $C'_{11}(s)$ se tiene,

Figura 12. Controlador $C'_{11}(s)$



Dado que $C'_{11}(s)$ es un controlador PID, éste tiene la siguiente forma,

$$C'_{11}(s) = kp_{11} + kd_{11}s + \frac{Ki_{11}}{s} = \frac{kd_{11}s^2 + kp_{11}s + ki_{11}}{s} \quad (26)$$

Con el objetivo de calcular el valor que tienen las ganancias del controlador se realiza una realimentación del sistema para hallar el polinomio característico del sistema.

$$Y_1(s) = H'_{11}(s)C'_{11}(s)(R(s) - Y_1(s)) \quad (27)$$

$$Y_1(s) = \frac{0.1240(kd_{11}s^2 + kp_{11}s + ki_{11})}{s(s + 0.01054) + 0.1240(kd_{11}s^2 + kp_{11}s + ki_{11})} R(s) \quad (28)$$

El polinomio característico del sistema es el denominador de la planta, éste se va a comparar con el polinomio deseado el cual se halla a partir de tiempo de establecimiento que se eligió (para este caso dieciséis minutos). Los polinomios tendrían el siguiente valor

$$P_{LC_{11}}(s) = (1 + 0.1240kd_{11})s^2 + (0.01054 + 0.1240kp_{11})s + 0.1240ki_{11} \quad (29)$$

$$P_D(s) = s^2 + 0.0208s + 0.0001 \quad (30)$$

Para obtener las ganancias del controlador se igualan los coeficientes de la variable s , De este modo el controlador $C'_{11}(s)$ tiene la siguiente forma

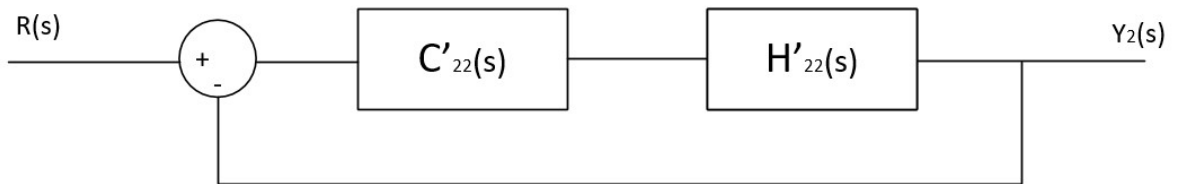
$$kd_{11} = 0 \quad (31)$$

$$kp_{11} = 0.083 \quad (32)$$

$$ki_{11} = 8.06 \times 10^{-6} \quad (33)$$

Tras obtener las ganancias del primer controlador se procede a realizar los cálculos para el segundo utilizando el mismo método, para $C'_{22}(s)$ se tiene que

Figura 13. Controlador $C'_{22}(s)$



Dado que $C'_{22}(s)$ es un controlador PID, éste tiene la siguiente forma,

$$C'_{22}(s) = kp_{22} + kd_{22}s + \frac{Ki_{22}}{s} = \frac{kd_{22}s^2 + kp_{22}s + ki_{22}}{s} \quad (34)$$

Utilizando el mismo método para hallar el polinomio característico de $C'_{11}(s)$ se halla el polinomio característico de $C'_{22}(s)$ y se hallan los valores de sus ganancias.

$$P_{LC_{11}}(s) = (1 - 27.8216 \times 10^{-6} kd_{22})s^2 + (5.301 \times 10^{-6} - 27.8216 \times 10^{-6} kp_{22})s - 27.8216 \times 10^{-6} ki_{22} \quad (35)$$

$$kd_{11} = 0 \quad (36)$$

$$kp_{11} = -747.43 \quad (37)$$

$$ki_{11} = -2.3923 \quad (38)$$

En los controladores $C'_{11}(s)$ y $C'_{22}(s)$ la ganancia del control derivativo obtuvo un valor de cero, esto simplemente quiere decir que el sistema no requiere de un control basado en la derivada del error para tener un resultado deseado. La matriz $C'(s)$ tiene entonces la siguiente forma,

$$C'(s) = \begin{bmatrix} 0.08274 + \frac{8.06 \times 10^{-3}}{s} & 0 \\ 0 & -747.43 - \frac{2.3923}{s} \end{bmatrix} \quad (39)$$

Por último, para calcular la matriz correspondiente a la matriz de control acoplado se utiliza la siguiente ecuación,

$$C(s) = D(s)C'(s) \quad (35)$$

$$C(s) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.4431 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.08274 + \frac{8.06 \times 10^{-3}}{s} & 0 \\ 0 & -747.43 - \frac{2.3923}{s} \end{bmatrix} \quad (36)$$

$$C(s) = \begin{bmatrix} 0.08274 + \frac{8.06 \times 10^{-3}}{s} & 0 \\ 0.0366 + \frac{3.571 \times 10^{-3}}{s} & -747.43 - \frac{2.3923}{s} \end{bmatrix} \quad (37)$$

Con la matriz $C(s)$ ya se tienen todos los elementos del sistema calculados, el diagrama de bloques correspondiente es el siguiente,

Figura 14. Diagrama de bloques del sistema de control

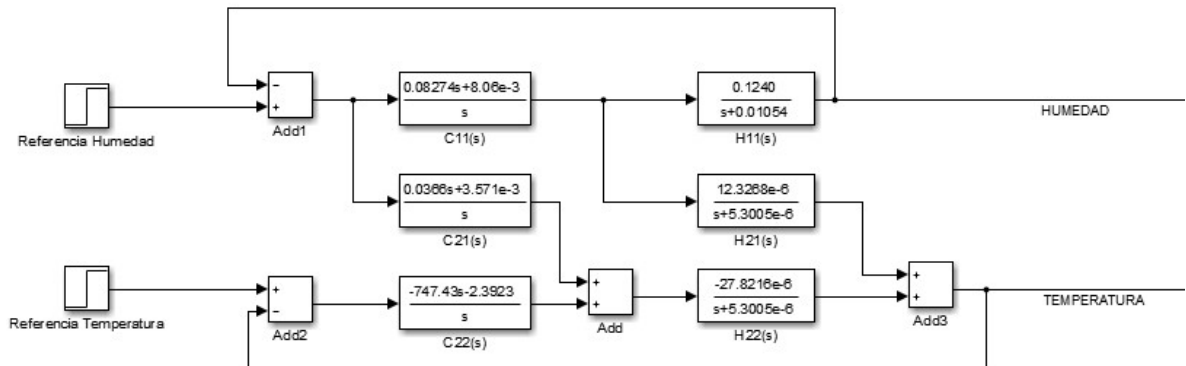


Figura 15. Respuesta de la humedad en el sistema controlado

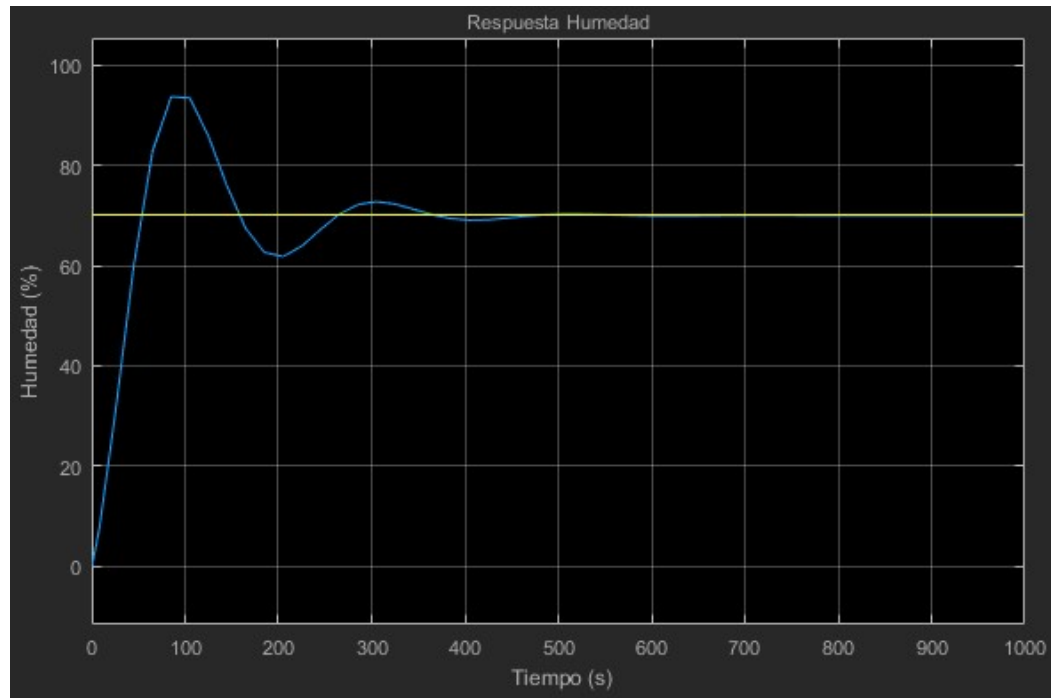


Figura 16. Respuesta de la temperatura en el sistema controlado

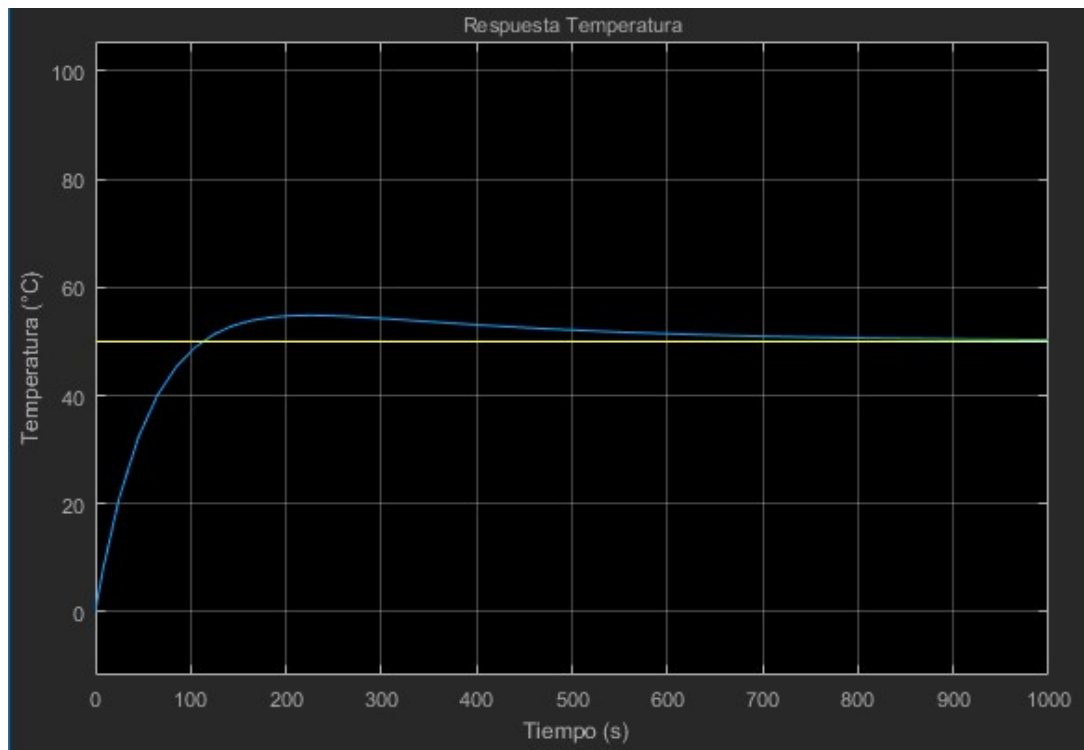
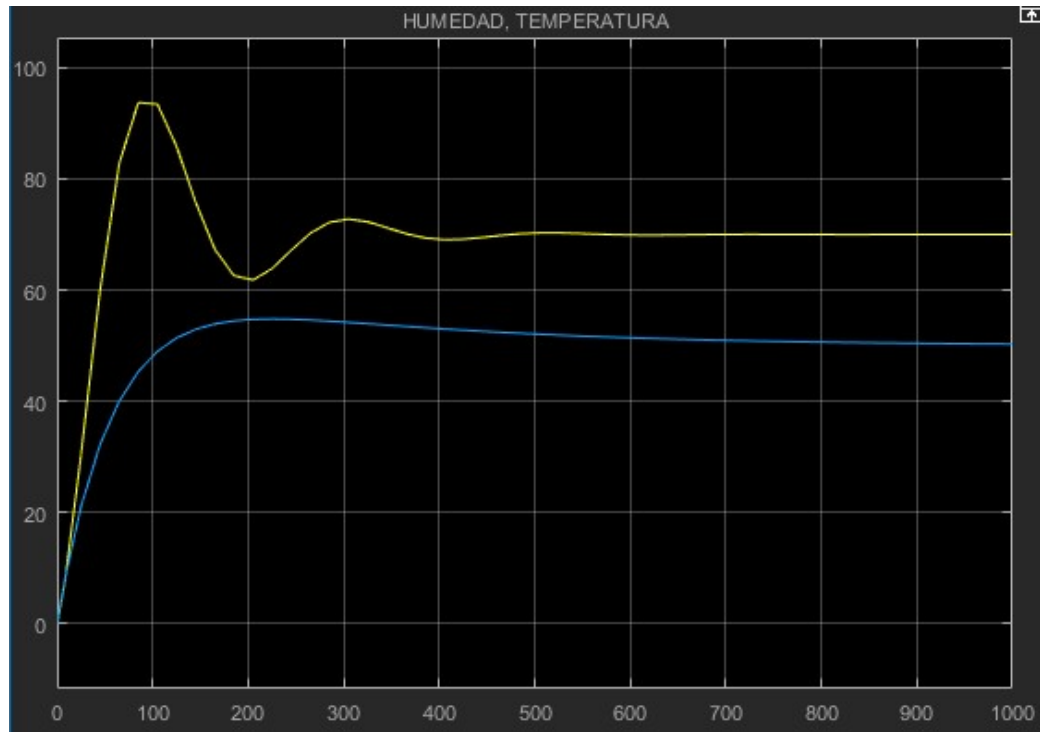


Figura 17. Respuesta de la humedad y la temperatura en el sistema controlado



Las figuras 15 y 16 enseñan el comportamiento de las salidas del sistema en comparación con la referencia de forma independiente mientras que la figura 17 enseña la respuesta de las dos variables durante un tiempo de simulación de mil segundos, en esta figura se superponen las respuestas de las variables de las figuras 15 y 16, la humedad corresponde a la gráfica amarilla mientras que la temperatura es la gráfica azul. La referencia de la humedad en la figura 15 se sitúa en el 70%; esta variable tiene un sobre-impulso elevado, sin embargo esto no afecta en lo absoluto el crecimiento de los colinos de plátano pues éstos pueden vivir en entornos con humedades mucho más altas. La referencia de la temperatura en la figura 16 está establecida en 50°C y el comportamiento de ésta variable es mucho más amortiguado en comparación con la humedad. En la simulación se aprecia cómo la temperatura y la humedad alcanzan el nivel de referencia en menos de quince minutos.

Para la simulación del sistema se utilizó la herramienta de software MATLAB, éste ofrece un entorno de desarrollo con lenguaje propio denominado *lenguaje M* basado en *lenguaje C*. Esta herramienta de software contiene una librería llamada

Simulink la cual según MathWorks es un entorno de diagramas de bloque para la simulación multidominio y el diseño basado en modelos. Admite el diseño y la simulación a nivel de sistema, la generación automática de código y la prueba y verificación continuas de los sistemas embebidos

La respuesta del sistema de control es la esperada, la gráfica de color azul corresponde al comportamiento de la humedad y la gráfica de color naranja corresponde al comportamiento de la temperatura, ambas comparadas con un escalón unitario.

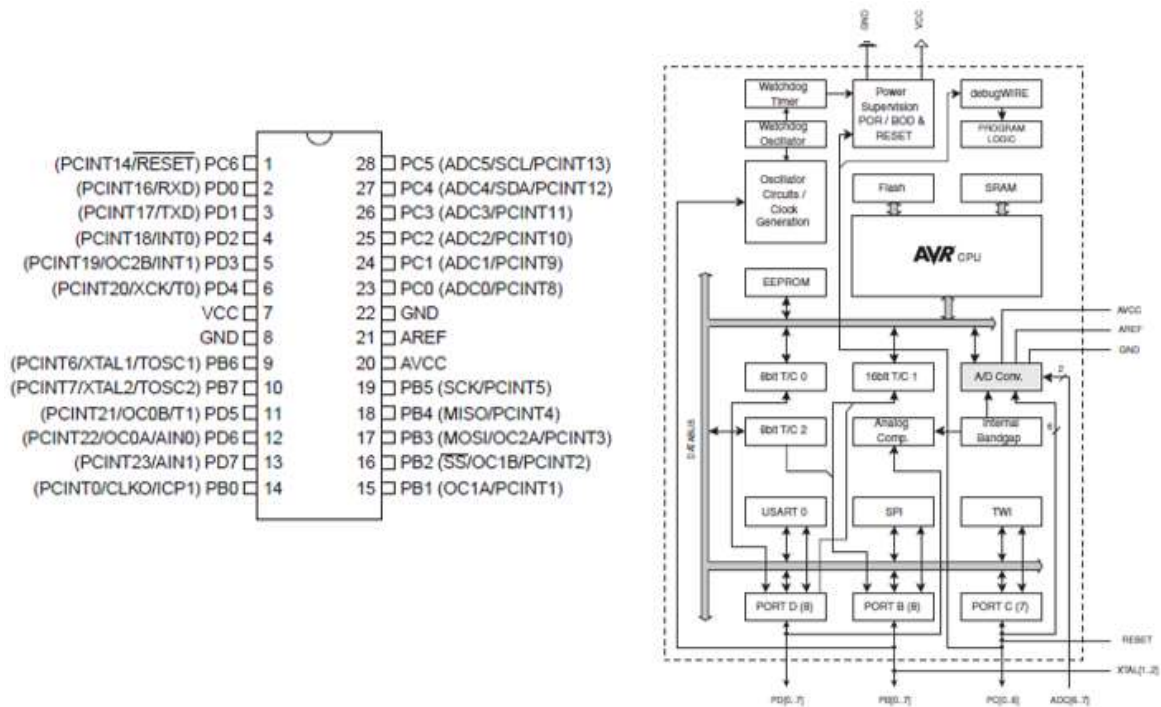
Ya se tienen todos los elementos del sistema de control, para implementarlo en un sistema embebido es necesario discretizar los controladores. Cada controlador cuenta con un término proporcional y otro integral, en el caso del término proporcional no es necesario discretizar porque éste es simplemente una constante que se multiplica por el error, en cuanto al control integral, se debe discretizar y existen varios métodos para llevar a cabo este procedimiento, el método que se utilizará será el de aproximación trapezoidal. En este caso la integral queda representada de la siguiente forma,

$$\int_0^t e(T)dT \approx \sum_{k=1}^n e(t_k)\Delta t \quad (38)$$

Donde Δt equivale al tiempo de muestreo. De esta forma se realiza la acción de control cada intervalo de tiempo Δt . De acuerdo al diagrama de bloques de la figura 10 se pueden implementar los controladores mediante programación en un microcontrolador, para este caso se utilizará el microcontrolador ATmega328P quien se encuentra integrado en el sistema embebido denominado ARDUINO.

El ATmega328P es un microcontrolador que según su hoja de datos puede operar entre 1.8V – 5.5V, tiene una velocidad de 20MHz y puede operar en rangos de temperatura entre -40°C a 85°C. Su memoria Flash es de 32Kbytes, su memoria EEPROM es de 1Kbyte y su memoria RAM es de 2KBytes.

Figura 18. Microcontrolador ATmega328P



Tomado de datasheet ATmega328P

El Arduino UNO de la figura 19 es una placa de desarrollo de hardware compuesta por un microcontrolador ATmega328P con puertos digitales y analógicos que pueden ser configurados como puertos de entrada o de salida, esta placa cuenta con un puerto de conexión USB por el cual se puede establecer conexión con un computador cualquiera para posterior mente ser programado. Su entorno está basado en *processing* y su lenguaje de programación está basado en *Wiring*.

Para el desarrollo del programa que implementará el control sobre la cámara térmica automatizada es necesario tener en cuenta que hay una variación de la referencia de la temperatura a partir del día catorce del ciclo de cultivo y se deben establecer condiciones para que el tiempo de muestreo sea lo más exacto y preciso posible.

Figura 19. Arduino UNO



Tomado de: Datasheet Arduino UNO

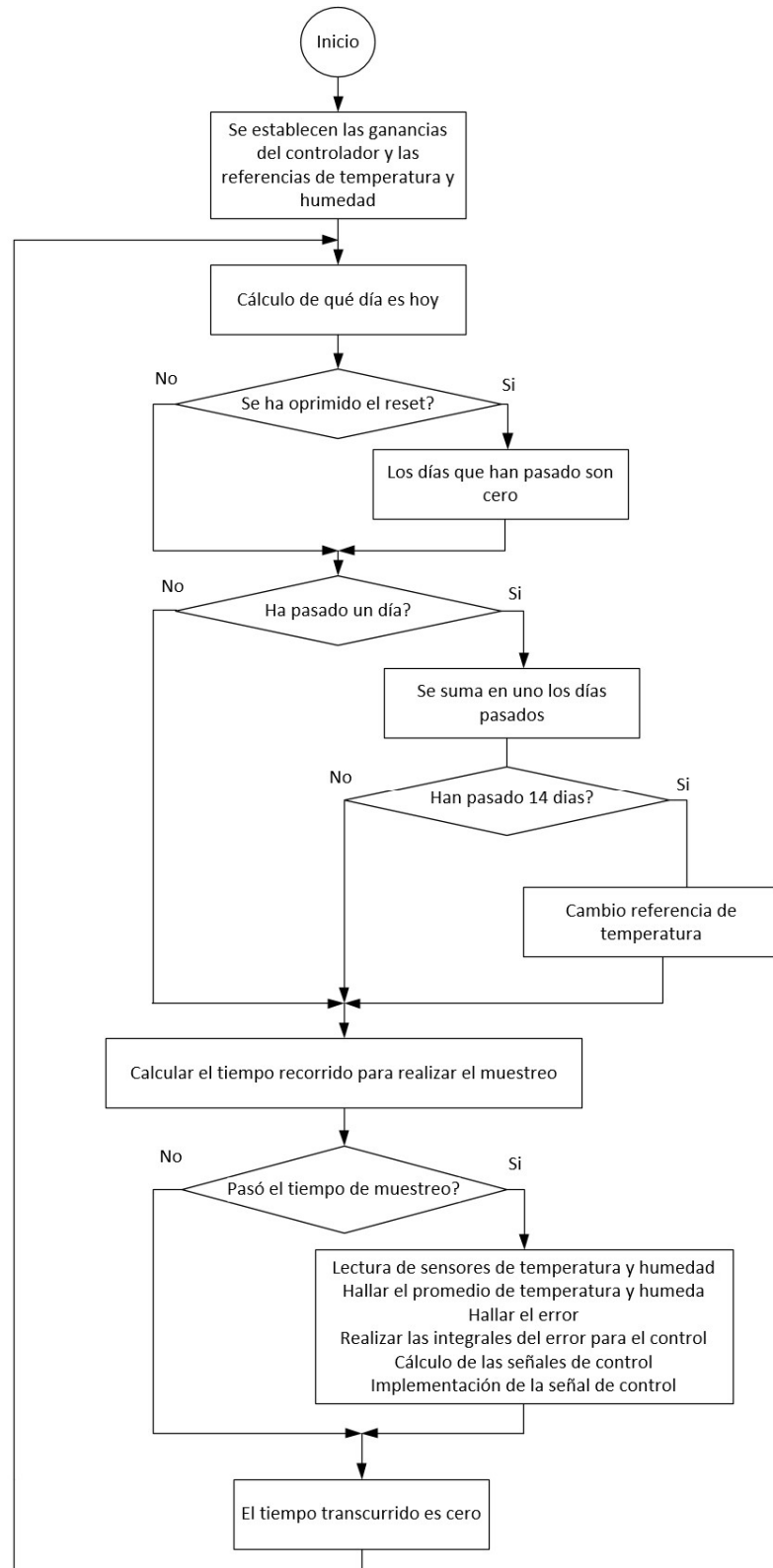
Para el desarrollo del programa se establece que el sistema embebido tendrá dos salidas que realizarán la acción de control sobre el sistema. La salida número uno será quien controle el calefactor en el interior de la cámara térmica, mientras que la segunda salida será la que controle el sistema de riego.

Con el objetivo de obtener el mayor número de brotes posibles durante el ciclo de cultivo se respetan los valores de temperatura y humedad ideales en el interior de la cámara térmica, se estableció que durante los primeros catorce días la temperatura debe tener un rango entre 45°C y 60°C, después de este tiempo la temperatura no debe superar los 50°C.

El objetivo es diseñar un programa que después de los primeros catorce días se mantenga una temperatura de aproximadamente 55°C y después la temperatura descienda y se mantenga constante en 47°C.

Cada que culmine un ciclo de cultivo y se siembren nuevos cormos en el interior de la cámara el conteo de días debe iniciar desde cero nuevamente, se debe entonces tener una opción para resetear el conteo de días y así iniciar un nuevo ciclo de cultivo. A continuación se presenta el diagrama de flujo del programa a realizar.

Figura 20. Diagrama de flujo del programa



A partir del diagrama de flujo que se acaba de presentar se desarrolla el programa que se ingresará al sistema embebido, éste es el siguiente.

```
/*  
 * Programa diseñado para controlar una cámara térmica automatizada  
 * cuenta con cuatro entradas de sensores de humedad y temperatura  
 * y dos salidas de control, la primera dirigida a los riegos  
 * automaticos y la otra dirigida al control de calefactor.  
 */  
  
#include <Wire.h>  
#include <RTCLib.h>  
#include <LiquidCrystal_I2C.h>  
#include <DHT.h>  
  
// Se define el tipo de LCD que se va a usar 16x2  
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);  
RTC_DS1307 RTC;  
  
// Se definen en qué pines estarán conectados los sensores  
#define DHT1 2  
#define DHT2 3  
#define DHT3 4  
#define DHT4 5
```

```

// Decalración de variables

float T = 3;

float ref_temperatura = 55;   float ref_humedad = 70;

float temperatura_1;         float humedad_1;
float temperatura_2;         float humedad_2;
float temperatura_3;         float humedad_3;
float temperatura_4;         float humedad_4;

float error_actual_humedad = 0;
float error_actual_temperatura=0;

float kp11 = 2.6031;         float ki11 = 0.1434;
float kp21 = 0.115*pow(10,-6); float ki21 = 0.0064*pow(10,-6);
float kp22 = -0.01197;      float ki22 = -0.6391*pow(10,-3);
float integral_11=0, integral_21=0, integral_22=0;

float u1 = 0, u2 = 0, prom_temperatura, prom_humedad;

float tiempo_recorrido, tiempo_pasado=0, diferencia_tiempo;


int ControlHumedad = 10;

int ControlTemperatura = 11;

int reset_programa = 6;


int hoy, paso_dias=0, dia_anterior=0;


DHT dht1(DHT1,DHT11);
DHT dht2(DHT2,DHT11);

```

```

DHT dht3(DHT3,DHT11);
DHT dht4(DHT4,DHT11);

void setup() {
  Wire.begin();
  RTC.begin();
  //RTC.adjust(DateTime(_DATE_,_TIME_));
  Serial.begin(9600);
  // Se inicializan los sensores y el display
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  dht1.begin();
  dht2.begin();
  dht3.begin();
  dht4.begin();
}

void loop() {
  // Obtener fecha y evaluar el número del día para cambiar la temperatura
  DateTime now = RTC.now();
  hoy = now.day();
  if (digitalRead(reset_programa) == 1){
    paso_dias = 0;}
  if(dia>dia_anterior){

```



```

    dia_anterior=dia;

    paso_dias=paso_dias+1;

    if(paso_dias==14){
        ref_temperatura = 47;}}

// Lectura de tiempo para el tiempo de muestreo

tiempo_recorrido = millis();

diferencia_tiempo = tiempo_recorrido-tiempo_pasado;

if(diferencia_tiempo >= T){

    // Lectura de Temperatura y Humedad

    temperatura_1 = dht1.readTemperature();

    humedad_1 = dht1.readHumidity();

    temperatura_2 = dht2.readTemperature();

    humedad_2 = dht2.readHumidity();

    temperatura_3 = dht3.readTemperature();

    humedad_3 = dht3.readHumidity();

    temperatura_4 = dht4.readTemperature();

    humedad_4 = dht4.readHumidity();

    // Promedio de Temperatura y Humedad

    prom_temperatura                                     =
    (temperatura_1+temperatura_2+temperatura_3+temperatura_4)/4;

    prom_humedad = (humedad_1+humedad_2+humedad_3+humedad_4)/4;

    // Visualizaci3n en LCD

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Temp: ");

    lcd.setCursor(7,0); lcd.print(prom_temperatura);

```

```

lcd.setCursor(10,0); lcd.print("Dia:");

lcd.setCursor(14,0); lcd.print(paso_dias)

lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Humedad: ");

lcd.setCursor(12,1); lcd.print(prom_humedad);

// Errores del sistema

error_actual_humedad = ref_humedad-prom_humedad;

error_actual_temperatura = ref_temperatura-prom_temperatura;

// Integrales del error

integral_11 = integral_11+error_actual_humedad*T;

integral_21 = integral_21+error_actual_humedad*T;

integral_22 = integral_22+error_actual_temperatura*T;

// Protección contra desbordamiento

if(integral_11 > 255){

    integral_11 = 255;

}

else if(integral_11 < -255){

    integral_11 = -255;

}

if(integral_21 > 255){

    integral_21 = 255;

}

else if(integral_21 < -255){

    integral_21 = -255;

}

```

```

if(integral_22 > 255){
    integral_22 = 255;
}

else if(integral_22 < -255){
    integral_22 = -255;
}

// Calculo de las señales de control

u1 = kp11*error_actual_humedad+ki11*integral_11;

u2 = kp21*error_actual_humedad+ki21*integral_21+kp22*error_actual_temperatura+ki22*integral_22;

// Protección contra desbordamiento u1 y u2

if(u1 > 255){
    u1 = 255;
}

else if(u1 < 0){
    u1 = 0;
}

if(u2 > 255){
    u2 = 255;
}

else if(u2 < 0){
    u2 = 0;
}

// Salidas controladas

```

```

    analogWrite(ControlHumedad,u1);

    analogWrite(ControlTemperatura,u2);

    tiempo_pasado = tiempo_recorrido;
}
}

```

En el código anterior se utilizó una librería para la lectura de los sensores de humedad, ésta fue diseñada por *ladyada*, una librería para el uso del módulo de comunicación entre el Arduino y el display I2C y una librería para el uso de un reloj de tiempo real que se usa para el conteo de los días transcurridos.

El reloj de tiempo real a usar tiene la referencia DS3231, éste es un módulo para el Arduino que se sincroniza con el computador una única vez y tras este proceso queda almacenada la fecha y la hora en el mismo.

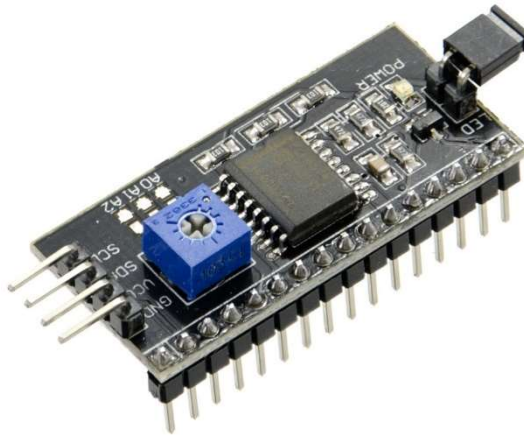
Figura 21. Módulo DS3231



Tomado de: <http://www.tinyosshop.com>

El programa anterior además de realizar el control de la temperatura y la humedad en el interior de la cámara térmica también tiene integrado una interfaz para que el agricultor pueda visualizar la temperatura, la humedad y el número de días transcurridos desde que se sembró el cultivo, para esto es necesario usar una pantalla de cristal líquido y para optimizar el uso de los pines del Arduino UNO se usa un adaptador I2C que únicamente requiere dos pines de salida analógica para conectar el display.

Figura 22. Adaptador I2C para LCD 2x16



Tomado de: <https://thingnovation.com/>

El sistema de calefacción que se usará para elevar la temperatura en el sistema será mediante el uso de las denominadas *Celdas Peltier*. Según Sandoval G, Espinosa J, & Barahona A., El funcionamiento de dichas celdas se basa en el efecto Peltier que se presenta cuando circula corriente eléctrica a través de un semiconductor generando una diferencia de temperatura entre sus dos caras. Las celdas Peltier se conforman por un arreglo de materiales tipo P y tipo N como se muestra en la siguiente figura,

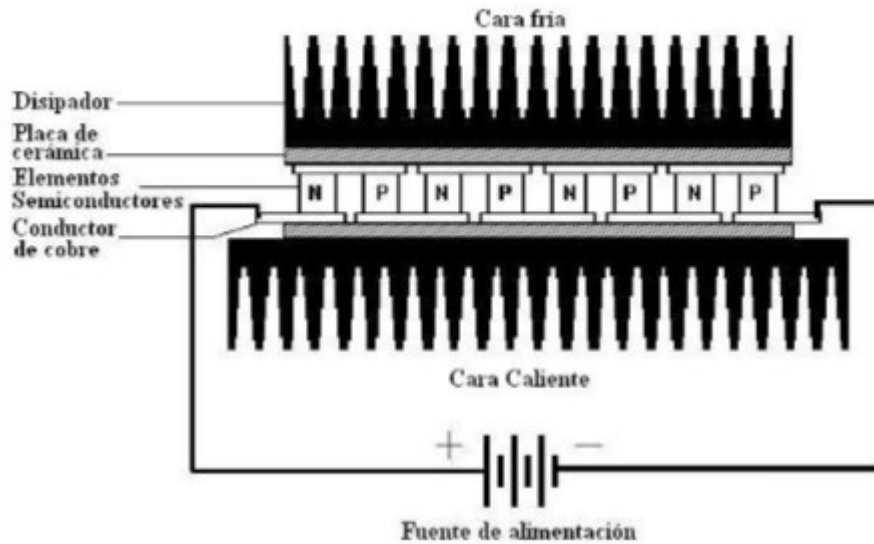
Figura 23. Celda de Peltier



Tomado de Sandoval G, Espinosa J, & Barahona A

En el interior de las celdas Peltier se encuentran elementos semiconductores dispuestos en serie mediante conductores de cobre. Con el objetivo de aislar el conductor de cobre con el disipador se agrega una placa de cerámica que funciona como aislante.

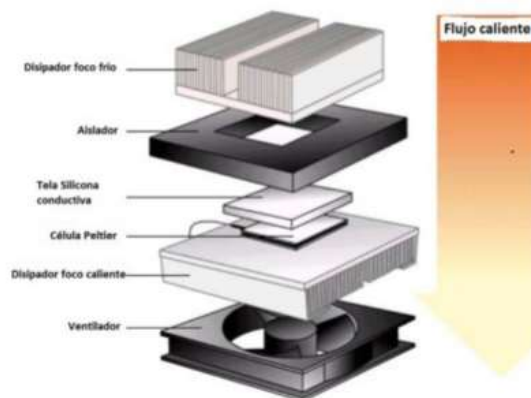
Figura 24. Interior de la Celda Peltier



Tomado de Sandoval G, Espinosa J, & Barahona A

Para el uso de estas celdas es necesario el uso de disipadores puesto que sin ellos las celdas se pueden quemar fácilmente y además proporcionan mejor conducción de calor, el conjunto de las celdas Peltier con cada una de sus caras unidas con sus respectivos disipadores se le conoce como *Módulo Peltier*.

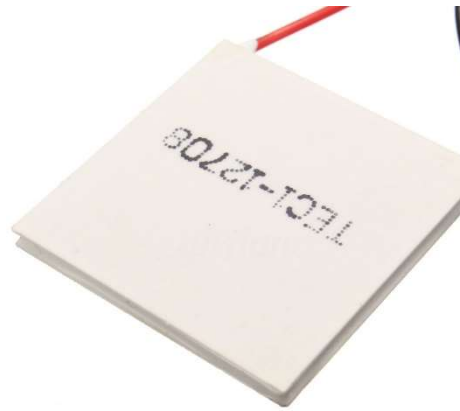
Figura 25. Explosión de módulo Peltier



Tomado de: Martínez Osorio, 2015

Se estima que para la calefacción de la cámara térmica se necesitan 16 celdas Peltier, éstas se pueden implementar en arreglos de 8 celdas con sus respectivos disipadores y ventiladores que facilitan la transferencia de calor. Las celdas Peltier que se establecieron para el sistema corresponden a las TEC1-12708

Figura 26. TEC1-12708



Tomado de: ebay.com

Las TEC1-12708 son celdas Peltier que funcionan a 12VDC y tienen un consumo aproximado de 8A. En términos de potencia, el uso de las 16 celdas Peltier al mismo tiempo genera un consumo de 1536W. Se utilizarán dos arreglos de 8 celdas cada uno en un lado de la cámara térmica a una altura de 0.7m. La disposición de los calefactores en el interior de la cámara se presenta en la figura 27.

Con respecto al sistema de riego, el actuador será una electroválvula DN15 DC12V normalmente cerrada que permite el paso de agua con una señal de voltaje de 12V y tiene un conector de ½ pulgada, ésta se muestra en la figura 28.

Figura 27. Sistema de calefacción de la cámara térmica

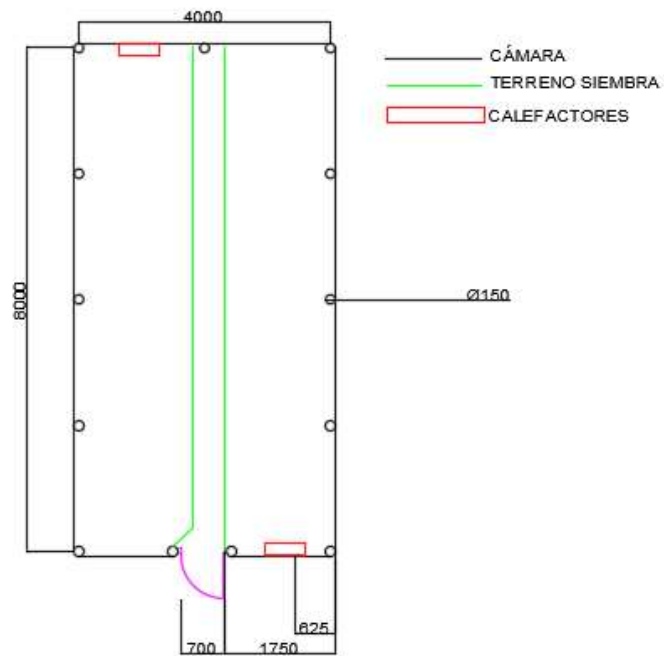


Figura 28. DN15 DC12V



Tomado de: aliexpress.com

El sistema de riego se realizará a través de cuatro tubos a una altura de 1.85m que atravesarán la cámara térmica y tendrán instalados rociadores de latón con boquilla de nebulización dispuestos a una distancia de 1.6m cada uno. De esta forma se garantiza que toda la superficie sea cubierta por los riegos. La electroválvula se ubicará en la tubería de entrada de agua de la cámara.

Figura 29. Rociador de latón con boquilla de nebulización



Tomado de: aliexpress.com

Figura 30. Sistema de riego de la cámara térmica automatizada

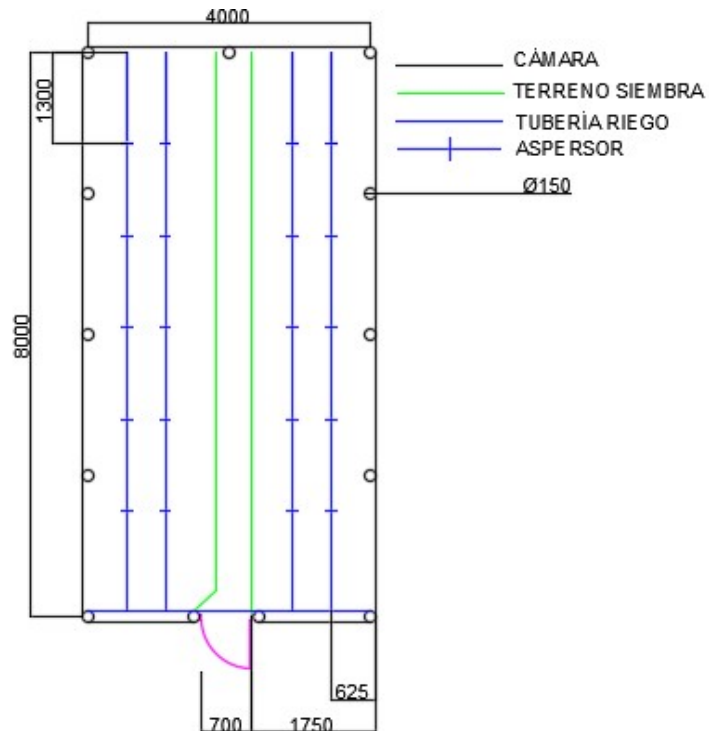
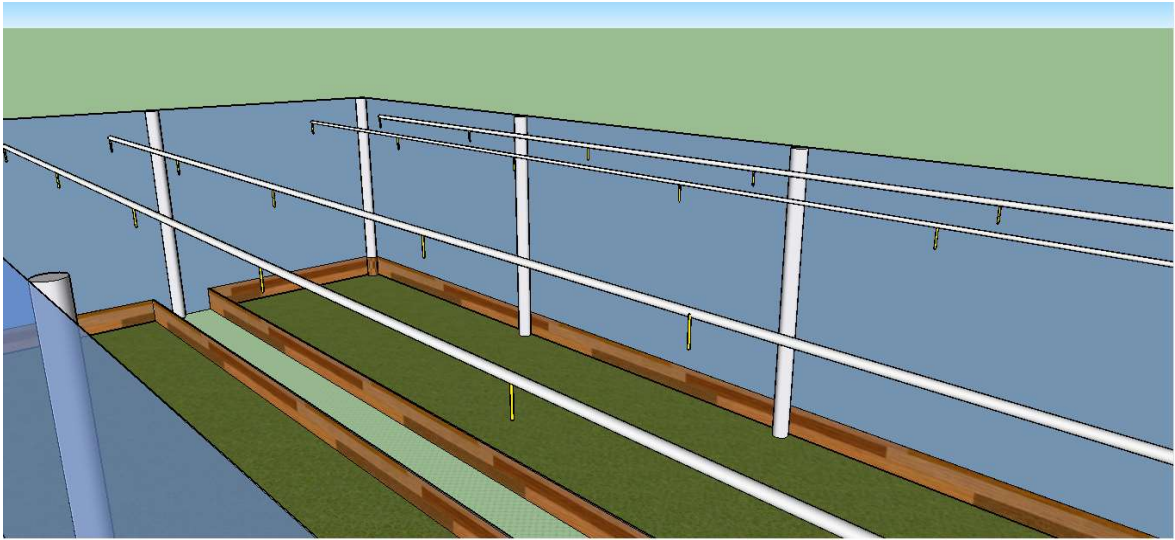


Figura 31. Sistema de riego implementado en la cámara térmica



La señal de control que dirigirá la operación de las celdas Peltier y la electro-válvula será transmitida mediante el uso de transistores MOSFET a razón de que éstos tienen un tiempo de respuesta más rápido comparado con los BJT por lo que son ideales a la hora de operar con señales de tipo PWM.

Los transistores que se utilizarán son de referencia IRFP460PBF con empaquetamiento To-247, éstos son transistores de canal N que pueden conducir hasta 20A a 500VDC, el voltaje que estos semiconductores necesitan para activarse tiene un rango desde 4,5V hasta 20V, para el caso del sistema que se va a implementar éstos serán activados con un voltaje de 5V proveniente de las salidas del Arduino UNO.

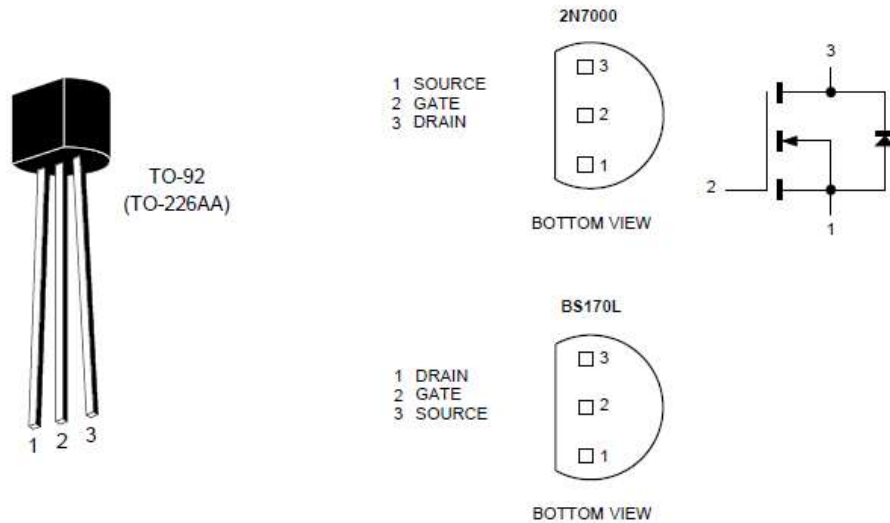
Figura 32. IRFP460PBF



Fuente: Datasheet del transistor IRFP460PBF

Como método de activación de los transistores IRFP460PBF que van conectados con los calefactores se emplea un transistor MOSFET de baja potencia, éste es el 2N7000 que tiene un voltaje de activación a partir de 4,5V.

Figura 33. 2N7000



Tomado de: Datasheet del transistor 2N7000

Para el uso de los transistores es necesario el diseño de una placa de circuito impreso, para este sistema se utilizarán 9 transistores IRFP460PBF para activar las 16 celdas Peltier, se utilizará también un transistor 2N7000 para amplificar la señal y activar los ocho transistores restantes, cada uno de los transistores restantes activarán dos celdas Peltier simultáneamente. Por último, también se utilizará un décimo transistor para activar la electro-válvula, el circuito impreso constará entonces de nueve transistores IRFP460PBF y un transistor 2N7000.

Figura 34. Esquemático

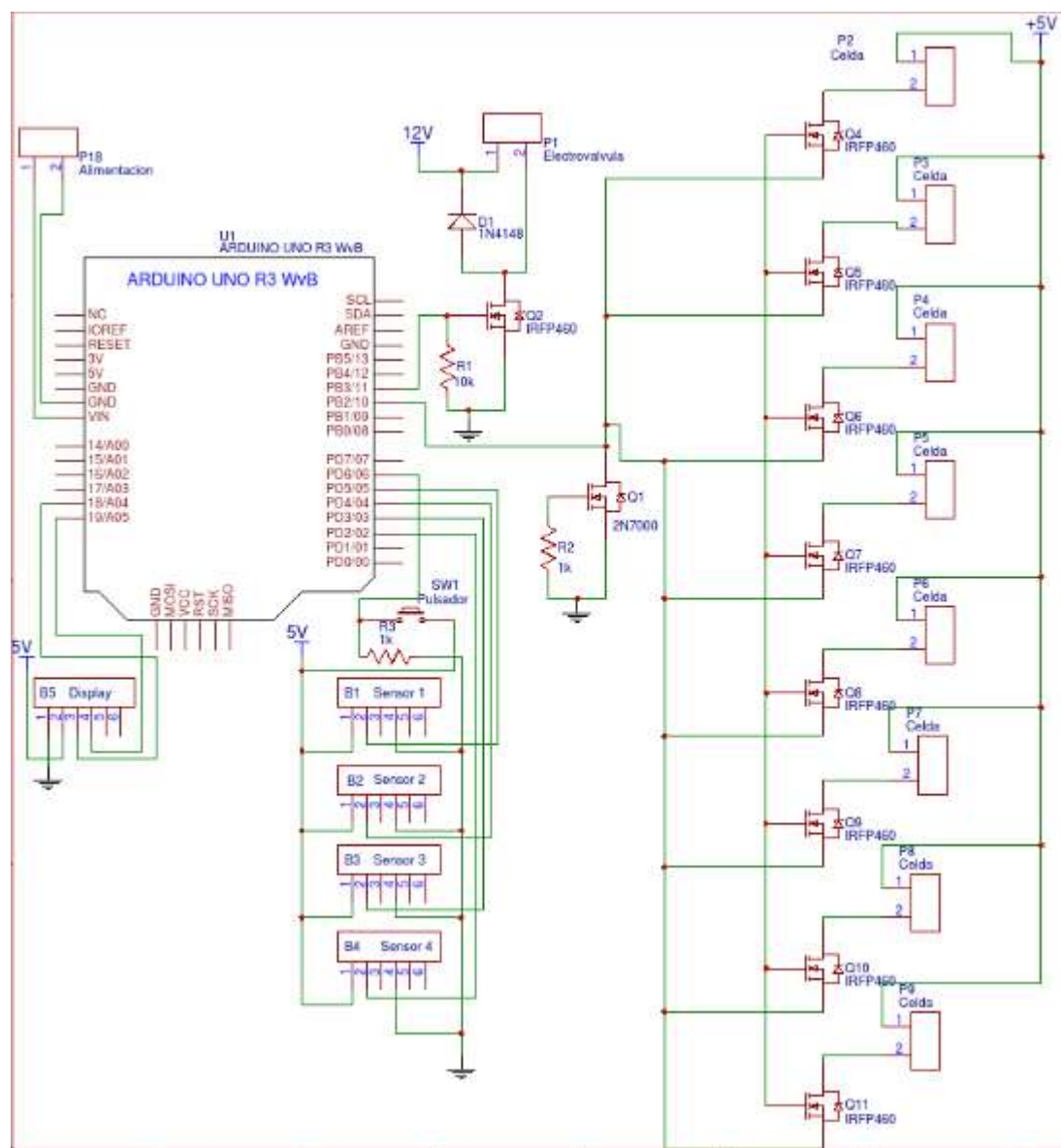


Figura 35. Placa de circuito impreso

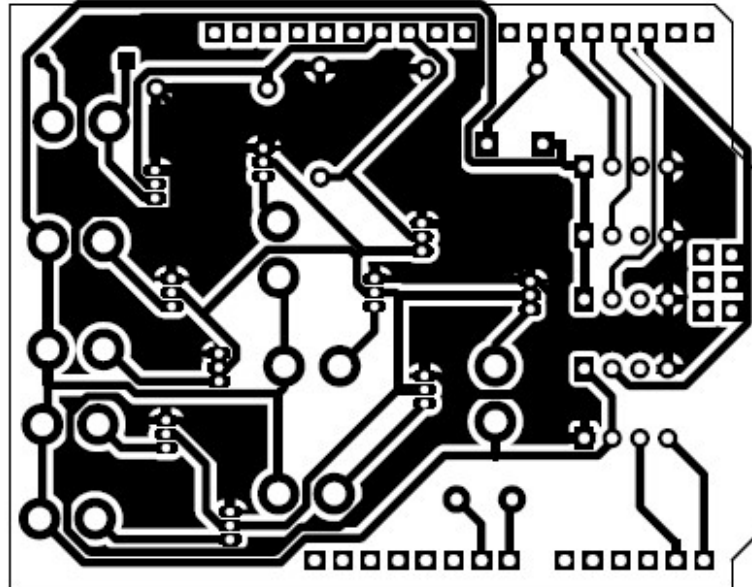
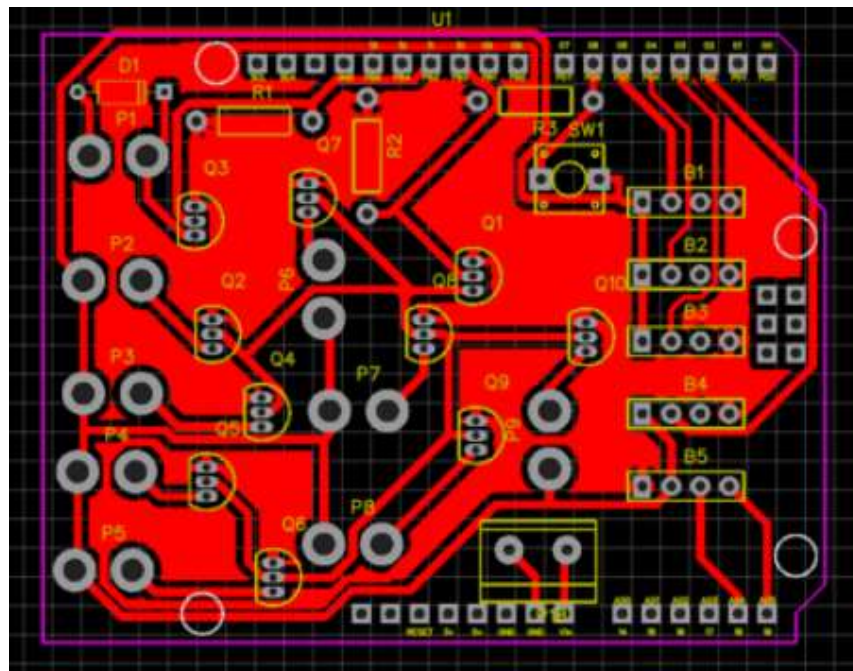


Figura 36. Ubicación de los componentes sobre la placa



Las resistencias que se utilizaron tienen un valor de 10kOhm y cumplen únicamente con la función de pull-down, ésta es una protección para evitar un corto durante la activación de los transistores.

2.6 DISEÑAR UN SISTEMA DE TECHO ELEVADIZO PARA REDUCIR EL USO DE CALEFACTORES

Con el objetivo de incrementar la eficiencia en términos del consumo de energía eléctrica, se diseñó un mecanismo para bajar el techo de la cámara térmica automatizada dado que cuando el techo se encuentra a baja altura el volumen de la cámara desciende, por lo tanto la acumulación de calor en el interior es mayor. Aprovechando que la temperatura ya está elevada en el interior de la cámara los calefactores no van a tener necesidad de encenderse y el ahorro de energía en este instante es considerable.

El mecanismo cuenta con tres partes esenciales: un tornillo de dos pulgadas de diámetro con un largo de dos metros y medio, una manivela unida al tornillo para hacer girar el mismo y por último una tuerca donde irá soldado el techo de la cámara térmica, de éste modo cada que se gire la manivela el techo cambiará su altura según el sentido de giro.

De este modo el agricultor puede levantar el techo en las ocasiones en que deba plantar nuevos cormos de plátano o por el contrario retirarlos de la cámara térmica, el resto del tiempo puede dejar el techo a una altura baja de aproximadamente un metro para ahorrar energía gracias a la reducción del uso de los calefactores.

Es importante tener en cuenta que se requieren once ejes que sirven de guía para el tornillo, en lo posible se recomienda el uso de rodamientos lineales, sin embargo, no es estrictamente necesario su uso. El material con el que se diseña la estructura debe ser liviano, para este caso se pueden usar perfiles huecos de aluminio. El diámetro de los ejes que sostienen el sistema de techo elevadizo debe ser de cuatro pulgadas, a pesar de que éste es un sistema liviano se debe garantizar que el sistema no falle ni se averíe a causa de tormentas.

Figura 37. Componentes del sistema de techo elevadizo

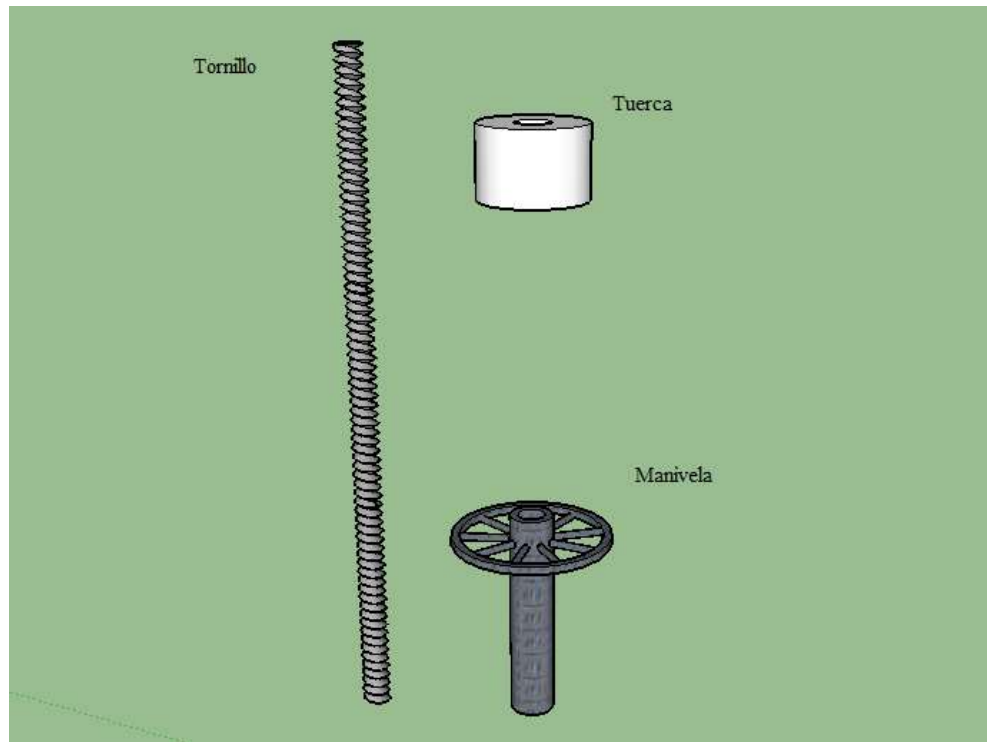
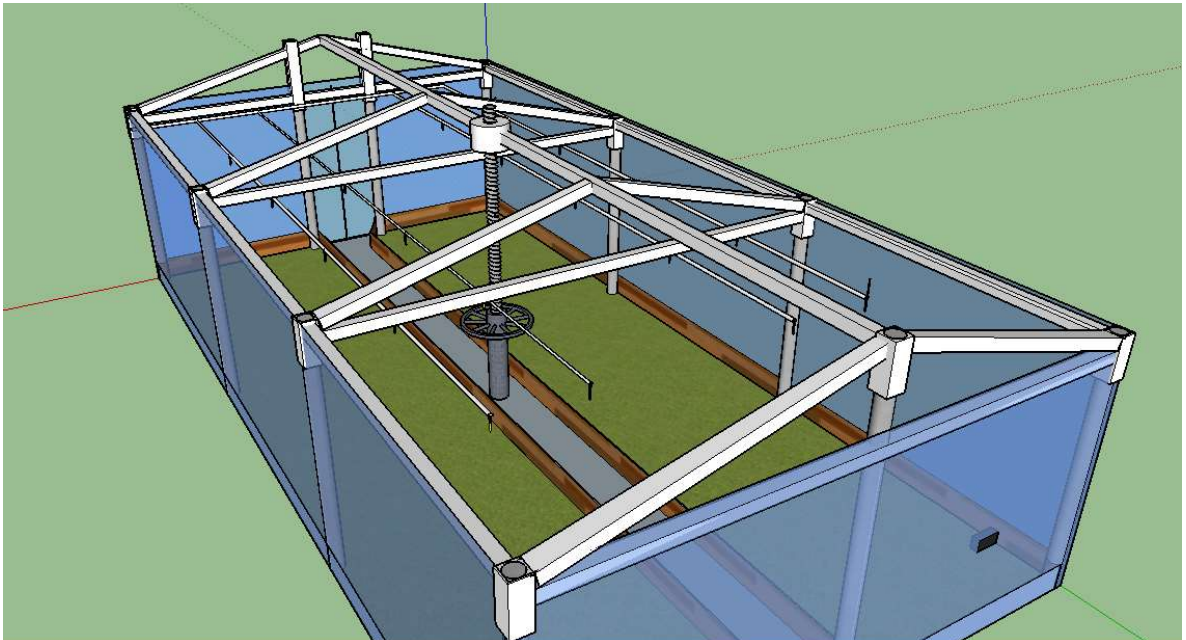


Figura 38. Sistema de techo elevadizo



Para bajar el techo el agricultor debe ingresar a la cámara y girar la manivela en sentido de las agujas del reloj, en caso contrario, para subir el techo se debe girar la manivela en sentido anti-horario, es importante tener en cuenta que la manivela va soldada con la punta del tornillo y que éstos deben estar en una superficie donde estén firmes y que no complique el giro de los mismos.

3. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

Para obtener un máximo número de brotes al mes se requiere un control muy preciso de temperatura después de pasados 20 días se corre el riesgo de que se quemen las hojas del cultivo.

Para tener una máxima optimización del calor en la cámara es necesario que ésta no esté ubicada en una parte donde haya mucho viento ni sombra, de éste modo se ahorra energía en el uso de calefactores.

Se debe tener una fuente hídrica constante, sin ésta se corre el riesgo de que la temperatura de la cámara ascienda a tal punto de quemar las hojas de los cormos.

4. RECOMENDACIONES

La construcción de la cámara térmica no se debe hacer en lugares con mucho viento a razón de que éste puede afectar la temperatura en el interior y sería necesario encender en mayor medida los calefactores. Se recomienda construir la cámara térmica en lugares sin sombra y con poco viento.

A pesar de que ya están establecidos unos parámetros en el controlador PID, se recomienda hacer una sintonización de los mismos en el momento de implementar el sistema de control, de ésta forma los resultados obtenidos pueden ser mucho mejores.

Durante la implementación de la cámara térmica automatizada se debe tener en cuenta que el voltaje de operación del Arduino UNO puede ser desde 7V hasta 20V, un voltaje de alimentación por fuera de estos límites podría dañar el sistema embebido. Se recomienda utilizar una fuente de 12V con capacidad de entregar 2000W de potencia.

Se recomienda utilizar materiales livianos para el techo, de esta forma el sistema para cambiar la altura del mismo funcionará en mejor medida.

Esta es la versión 1.0 del controlador, se recomienda implementar un teclado donde se puedan configurar las referencias de temperatura y humedad para usar la cámara con distintos cultivos además de implementar una pantalla HMI para una mejor visualización de las variables del sistema.

5. PRESUPUESTO

Elemento	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Sensor de temperatura	DHT22	4	20117	80458
Arduino	UNO R3	1	35000	35000
Fuente de poder	Swicheada	1	540000	540000
Micro aspersor	Riego caja x 10	2	20000	40000
Electroválvula	½' de plomería	1	45000	45000
Celda	Peltier	16	11000	176000
Resistencia	10k	18	100	1800
Transistor 2N7000	MOSFET	1	500	500
Transistor IRFP460PBF	MOSFET	9	4500	40500
Tubo Aluminio-Estructura	90x50x2mm 6m	10	90000	90000
Tubería eléctrica	MT ½'	12	3900	46800
Tubería riegos	½' x mt	50	1500	75000
Cofre metálico	IP66-68	1	120000	120000
Mano de obra			2500000	3000000
Display LCD	16x2	1	15000	15000
Módulo Reloj tiempo real	RTC	1	12000	12000
Tubo Aluminio 4pulg	2pulg x 6m	4	190000	760000
Piezas techo corredizo			3000000	3000000
Plástico invernadero	8m ancho x mt	30	18000	540000
Otros	10% del valor total			773000
Total				10003000

REFERENCIAS

Álvarez, E., Ceballos, G., Gañán, L., Rodríguez, D., Gonzáles, S., & Pantoja, A. (2013). Producción de material de 'siembra' limpio en el manejo de las enfermedades limitantes del plátano. Cali, Colombia.

Comisión para el desarrollo y vida sin drogas, & PIRDAIS PASCO. (2013). *Folleto de cámaras térmicas para plantaciones de plátano*.

Ecuaciones diferenciales y problemas con valor en la frontera. (2008). En H. Edwards, & D. Penney. PEARSON EDUCACIÓN,.

Gómez Caicedo, Echeverry, N., & Gonzales, R. (2001). Evaluación de los controles cultural, químico y biológico sobre la pudrición vascular y marchitamiento del plátano.

IDEAM. (s.f.). *CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE CIUDADES PRINCIPALES Y MUNICIPIOS TURÍSTICOS*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>

Ingeniería de control moderna. (2010). En K. Ogata. Pearson.

Martínez Osorio, R. C. (16 de 06 de 2015). Implementación del fenómeno termoeléctrico en la construcción de un módulo de prácticas termoeléctricas para su uso pedagógico en el laboratorio de sistemas de adquisición de datos. Medellín, Antioquia, Colombia.

MathWorks. (s.f.). Obtenido de <https://es.mathworks.com/products/simulink.html>

Ponse, P., Molina, A., Cepeda, P., Lugo, E., & MacCleery, B. (2015). *Greenhouse Design and Control*. Ciudad de México: CRC Press.

Sandoval G, A., Espinosa J, E., & Barahona A, J. (s.f.). Celdas Peltier: Una alternativa para sistemas de enfriamiento con base en semiconductor. 1-2.

Wikispaces. (s.f.). *Control - PID*. Obtenido de <http://control-pid.wikispaces.com/>

ANEXOS

Anexo A. Programa del controlador

```
/*
 * Programa diseñado para controlar una cámara térmica automatizada
 * cuenta con cuatro entradas de sensores de humedad y temperatura
 * y dos salidas de control, la primera dirigida a los riegos
 * automaticos y la otra dirigida al control de calefactor.
 */
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DHT.h>

// Se define el tipo de LCD que se va a usar 16x2
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
RTC_DS1307 RTC;

// Se definen en qué pines estarán conectados los sensores
#define DHT1 2
#define DHT2 3
#define DHT3 4
#define DHT4 5

// Declaración de variables
float T = 3;
float ref_temperatura = 55; float ref_humedad = 70;
float temperatura_1; float humedad_1;
float temperatura_2; float humedad_2;
float temperatura_3; float humedad_3;
float temperatura_4; float humedad_4;
float error_actual_humedad = 0;
float error_actual_temperatura=0;
float kp11 = 2.6031; float ki11 = 0.1434;
float kp21 = 0.115*pow(10,-6); float ki21 = 0.0064*pow(10,-6);
float kp22 = -0.01197; float ki22 = -0.6391*pow(10,-3);
float integral_11=0, integral_21=0, integral_22=0;
float u1 = 0, u2 = 0, prom_temperatura, prom_humedad;
float tiempo_recorrido, tiempo_pasado=0, diferencia_tiempo;

int ControlHumedad = 10;
int ControlTemperatura = 11;
int reset_programa = 6;
```

```

int hoy, paso_dias=0, dia_anterior=0;

DHT dht1(DHT1,DHT11);
DHT dht2(DHT2,DHT11);
DHT dht3(DHT3,DHT11);
DHT dht4(DHT4,DHT11);

void setup() {
  Wire.begin();
  RTC.begin();
  //RTC.adjust(DateTime(_DATE_,_TIME_));
  Serial.begin(9600);
  // Se inicializan los sensores y el display
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  dht1.begin();
  dht2.begin();
  dht3.begin();
  dht4.begin();
}

void loop() {
  // Obtener fecha y evaluar el número del día para cambiar la temperatura
  DateTime now = RTC.now();
  hoy = now.day();
  if (digitalRead(reset_programa) == 1){
    paso_dias = 0;}
  if(dia>dia_anterior){
    dia_anterior=dia;
    paso_dias=paso_dias+1;
    if(paso_dias==14){
      ref_temperatura = 47;}}
  // Lectura de tiempo para el tiempo de muestreo
  tiempo_recorrido = millis();
  diferencia_tiempo = tiempo_recorrido-tiempo_pasado;
  if(diferencia_tiempo >= T){
    // Lectura de Temperatura y Humedad
    temperatura_1 = dht1.readTemperature();
    humedad_1 = dht1.readHumidity();
    temperatura_2 = dht2.readTemperature();
    humedad_2 = dht2.readHumidity();
    temperatura_3 = dht3.readTemperature();
    humedad_3 = dht3.readHumidity();
    temperatura_4 = dht4.readTemperature();
    humedad_4 = dht4.readHumidity();
    // Promedio de Temperatura y Humedad

```

```

prom_temperatura = (temperatura_1+temperatura_2+temperatura_3+temperatura_4)/4;
prom_humedad = (humedad_1+humedad_2+humedad_3+humedad_4)/4;
// Visualización en LCD
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Temp: ");
lcd.setCursor(7,0); lcd.print(prom_temperatura);
lcd.setCursor(10,0); lcd.print("Dia:");
lcd.setCursor(14,0); lcd.print(paso_dias)
lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Humedad: ");
lcd.setCursor(12,1); lcd.print(prom_humedad);
// Errores del sistema
error_actual_humedad = ref_humedad-prom_humedad;
error_actual_temperatura = ref_temperatura-prom_temperatura;
// Integrales del error
integral_11 = integral_11+error_actual_humedad*T;
integral_21 = integral_21+error_actual_humedad*T;
integral_22 = integral_22+error_actual_temperatura*T;
// Protección contra desbordamiento
if(integral_11 > 255){
    integral_11 = 255;
}
else if(integral_11 < -255){
    integral_11 = -255;
}
if(integral_21 > 255){
    integral_21 = 255;
}
else if(integral_21 < -255){
    integral_21 = -255;
}
if(integral_22 > 255){
    integral_22 = 255;
}
else if(integral_22 < -255){
    integral_22 = -255;
}
// Calculo de las señales de control
u1 = kp11*error_actual_humedad+ki11*integral_11;
u2 = kp21*error_actual_humedad+ki21*integral_21+kp22*error_actual_temperatura+ki22*integral_22;
// Protección contra desbordamiento u1 y u2
if(u1 > 255){
    u1 = 255;
}
else if(u1 < 0){
    u1 = 0;
}
if(u2 > 255){

```

```
    u2 = 255;
  }
  else if(u2 < 0){
    u2 = 0;
  }
  // Salidas controladas
  analogWrite(ControlHumedad,u1);
  analogWrite(ControlTemperatura,u2);
  tiempo_pasado = tiempo_recorrido;
}
}
```

Anexo B. Datasheet Atmega 328P



ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P

ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KBYTES IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH

DATASHEET

Features

- High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-Bit Microcontroller Family
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32KBytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
 - 256/512/512/1KBytes EEPROM
 - 512/1K/1K/2KBytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Atmel® QTouch® library support
 - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
 - QTouch and QMatrix® acquisition
 - Up to 64 sense channels
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change

- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
 - 1.8 - 5.5V
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
 - 0 - 4MHz@1.8 - 5.5V, 0 - 10MHz@2.7 - 5.5V, 0 - 20MHz @ 4.5 - 5.5V
- Power Consumption at 1MHz, 1.8V, 25°C
 - Active Mode: 0.2mA
 - Power-down Mode: 0.1µA
 - Power-save Mode: 0.75µA (including 32kHz RTC)

Anexo C. Datasheet Arduino UNO

Arduino Uno



Arduino Uno R3 Front



Arduino Uno R3 Back



Arduino Uno R2 Front



Arduino Uno SMD



Arduino Uno Front



Arduino Uno Back

Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

[Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into [DFU mode](#).

[Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

Note: The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328. Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the ATmega8, 168, and 328 is identical.

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a [Wire library](#) to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available. The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data. The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

Anexo D. Datasheet IRFP460PBF

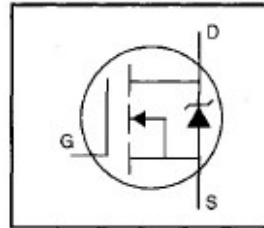
International
Rectifier

PD-9.512B

IRFP460

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



$$V_{DS} = 500V$$

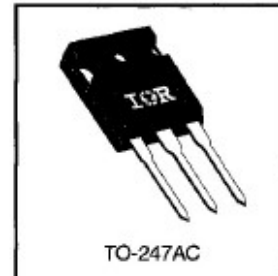
$$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$$

$$I_D = 20A$$

Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.



TO-247AC

DATA
SHEETS

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	20	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	13	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	80	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	280	W
	Linear Derating Factor	2.2	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	960	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	20	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	28	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.5	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +150	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1 N•m)	

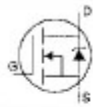
Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	40	

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	$V_{GS}=0V$, $I_D=250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to 25°C , $I_D=1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	$V_{GS}=10V$, $I_D=12A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}$, $I_D=250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	13	—	—	S	$V_{DS}=50V$, $I_D=12A$ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS}=500V$, $V_{GS}=0V$
		—	—	250		$V_{DS}=400V$, $V_{GS}=0V$, $T_J=125^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS}=20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS}=-20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	210	nC	$I_D=20A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	29		$V_{DS}=400V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110		$V_{GS}=10V$ See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	$V_{DD}=250V$
t_r	Rise Time	—	59	—		$I_D=20A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	110	—		$R_G=4.3\Omega$
t_f	Fall Time	—	58	—		$R_D=13\Omega$ See Figure 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	4200	—	pF	$V_{GS}=0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	870	—		$V_{DS}=25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—		$f=1.0MHz$ See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	$T_J=25^\circ\text{C}$, $I_S=20A$, $V_{GS}=0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	$T_J=25^\circ\text{C}$, $I_F=20A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	μC	$di/dt=100A/\mu s$ ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)

③ $I_{SD} \leq 20A$, $di/dt \leq 180A/\mu s$, $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$, $T_J \leq 150^\circ\text{C}$

② $V_{DD}=50V$, starting $T_J=25^\circ\text{C}$, $L=4.3mH$, $R_G=25\Omega$, $I_{AS}=20A$ (See Figure 12)

④ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.

Anexo E. Datasheet 2N7000



N-Channel Enhancement-Mode MOS Transistor

2N7000 / BS170L

DESCRIPTION

The 2N7000 utilizes Calogic's vertical DMOS technology. The device is well suited for switching applications where B_V of 60V and low on resistance (under 5 ohms) are required. The 2N7000 is housed in a plastic TO-92 package.

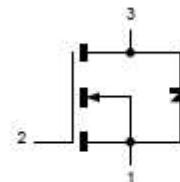
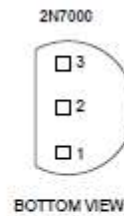
ORDERING INFORMATION

Part	Package	Temperature Range
2N7000	Plastic TO-92	-55°C to +150°C
BS170L	Plastic TO-92	-55°C to +150°C
X2N7000	Sorted Chips in Carriers	-55°C to +150°C

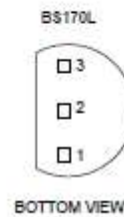
PIN CONFIGURATION



1 SOURCE
2 GATE
3 DRAIN



1 DRAIN
2 GATE
3 SOURCE



CD5

PRODUCT SUMMARY

P/N	$V_{(BR)DSS}$ (V)	$r_{DS(ON)}$ (Ω)	I_D (A)
2N7000	60	5	0.2
BS170	60	5	0.5

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETERS	LIMITS	UNITS	TEST CONDITIONS
V_{DS}	Drain-Source Voltage	60	V	
V_{GS}	Gate-Source Voltage	± 40		
I_D	Continuous Drain Current	0.2 0.13	A	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$
I_{DM}	Pulsed Drain Current ¹	0.5		
P_D	Power Dissipation ¹	0.4 0.16	W	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature Range	-55 to 150		$^\circ\text{C}$
T_{stg}	Storage Temperature Range	-55 to 150		
T_L	Lead Temperature (1/16" from case for 10 sec.)	300		

THERMAL RESISTANCE RATINGS

SYMBOL	THERMAL RESISTANCE	LIMITS	UNITS
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	312.5	K/W

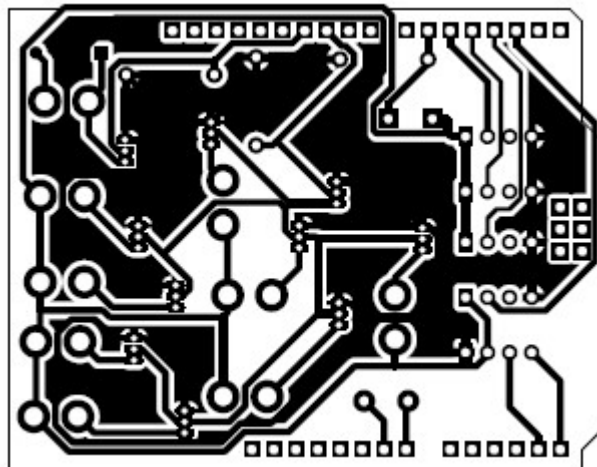
NOTE: 1. Pulse width limited by maximum junction temperature.

SPECIFICATIONS¹

SYMBOL	PARAMETER	MIN	TYP ²	MAX	UNIT	TEST CONDITIONS
STATIC						
V _{DS(BR)}	Drain-Source Breakdown Voltage	60	70		V	I _D = 10μA, V _{GS} = 0V
V _{GS(th)}	Gate-Threshold Voltage	0.8	1.9	3		V _{DS} = V _{GS} , I _D = 1mA
I _{GSS}	Gate-Body Leakage			±10	nA	V _{GS} = ±15V, V _{DS} = 0V
I _{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current			1	μA	V _{DS} = 48V, V _{GS} = 0V
				1000		T _C = 125°C
I _{D(ON)}	On-State Drain Current ³	75	210		mA	V _{DS} = 10V, V _{GS} = 4.5V
r _{DS(ON)}	Drain-Source On-Resistance ³		4.8	5.3	Ω	⁴ V _{GS} = 4.5V, I _D = 75mA
			2.5	5		V _{GS} = 10V, I _D = 0.5A
			4.4	9		T _C = 125°C
V _{DS(ON)}	Drain-Source On-Voltage ³		0.36	0.4	V	⁴ V _{GS} = 4.5V, I _D = 75mA
			1.25	2.5		V _{GS} = 10V, I _D = 0.5A
			2.2	4.5		T _C = 125°C ⁴
g _{FS}	Forward Transconductance ³	100	170		mS	V _{DS} = 10V, I _D = 0.2A
g _{OS}	Common Source Output Conductance ^{3,4}		500		μS	V _{DS} = 5V, I _D = 50mA
DYNAMIC						
C _{iss}	Input Capacitance		16	60	pF	V _{DS} = 25V, V _{GS} = 0V, f = 1MHz
C _{oss}	Output Capacitance ⁴		11	25		
C _{rss}	Reverse Transfer Capacitance		2	5		
SWITCHING						
t _{ON}	Turn-On Time		7	10	nS	V _{DD} = 15V, R _L = 25Ω, I _D = 0.5A V _{GEN} = 10V, R _G = 25Ω (Switching time is essentially independent of operating temperature)
t _{OFF}	Turn-Off Time		7	10		

- NOTES: 1. $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.
 2. For design aid only, not subject to production testing.
 3. Pulse test; $PW = < 300\mu\text{S}$, duty cycle $< 3\%$.
 4. This parameter not registered with JEDEC.

Anexo F. Placa de circuito impreso



Anexo G. Datasheet TEC1-12708T125

愉進電子科技有限公司

EVERREDTRONICS LIMITED

上海市宝山区菊联路 89 号 201907

No 89 Julian Road, Baoshan, Shanghai 201907 China.

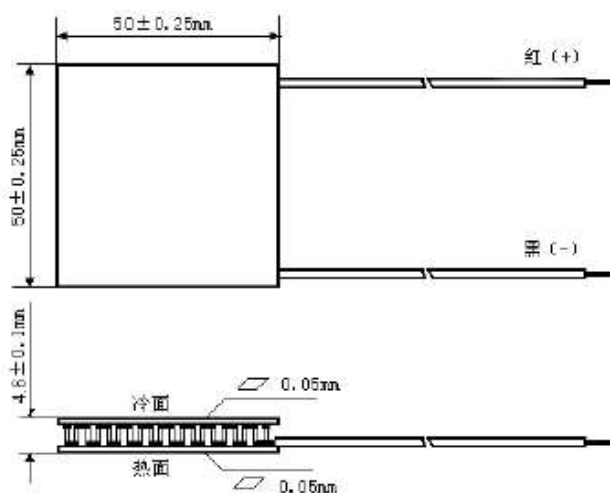
Tel: +86-21-8049 5160 Fax: +86-21-8531 1544

URL: www.everredtronics.com E-mail: sales@everredtronics.com

SPECIFICATIONS

Thermoelectric Module: TEC1-12708T125 50x50x4.6mm

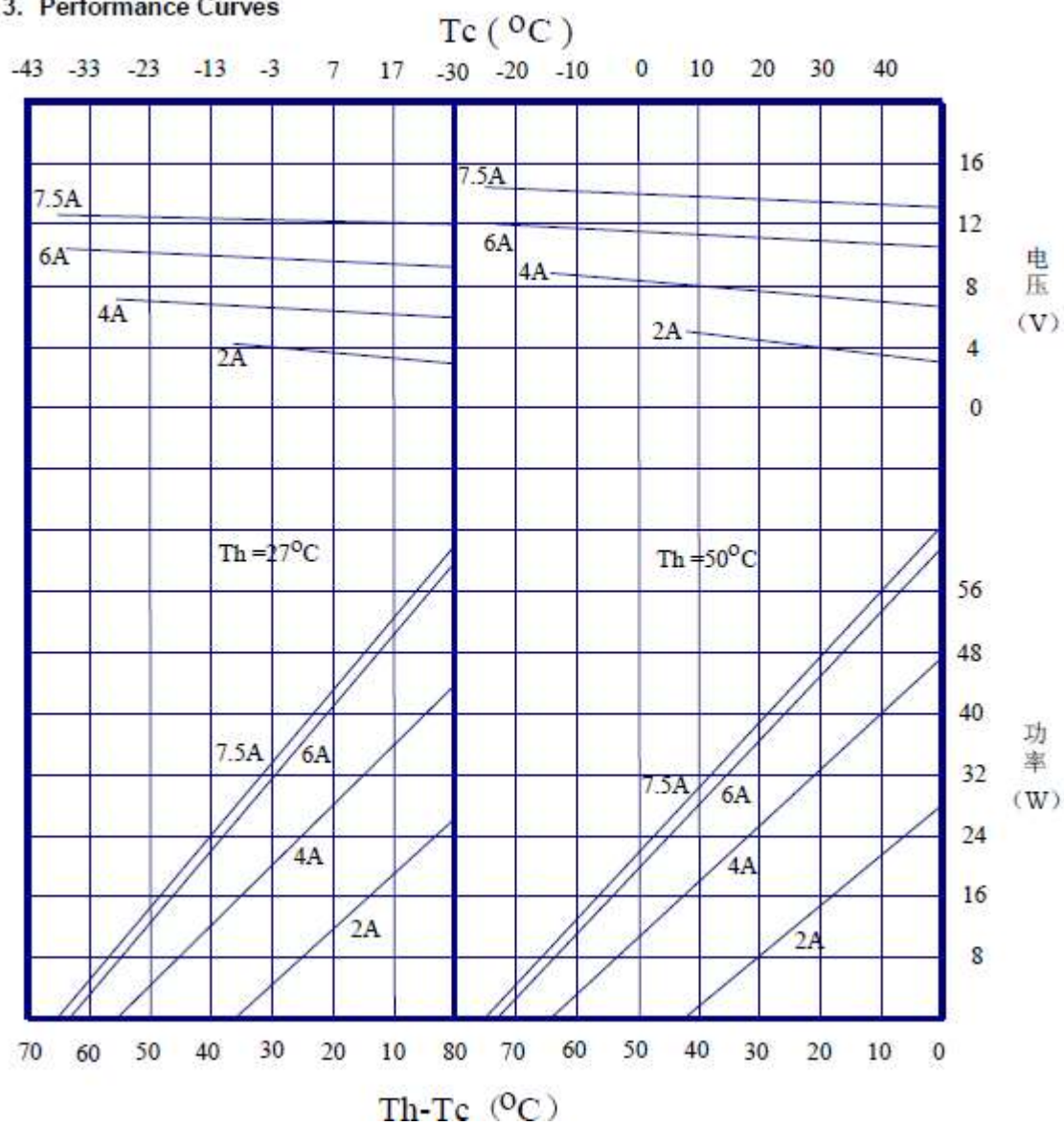
1. Dimensions



2. Electrical Parameters

Specifications		Conditions
I_{\max}	8.0A	$T_h=30^\circ\text{C}$
V_{\max}	15.0V	$T_h=30^\circ\text{C}$
ΔT_{\max}	$\geq 66^\circ\text{C}$	$Q_c=0$, $T_h=30^\circ\text{C}$
$Q_{c\max}$	69.0W	$\Delta T=0^\circ\text{C}$, $T_h=30^\circ\text{C}$
T_R	$-50 \sim 100^\circ\text{C}$	
Wire	20AWG, Length: 150mm	

3. Performance Curves



No 89 Julian Road, Shanghai 201907 China.
 Tel: +86-21-8049 5180 Fax: +86-21-8531 1544
 URL: www.everredtronics.com E-mail: sales@everredtronics.com